

50<sup>e</sup> jaargang

7 | '82



# natuur en techniek

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad

## Bij de omslag

Het booglassen van metalen is een veel gebruikte techniek om metalen werkstukken met elkaar te verbinden. Op de foto wordt gebruik gemaakt van de gasbooglastechniek. Hierbij wordt de elektrode continu in de vorm van een lange draad toegevoerd, terwijl gassen (bijv. argon of CO<sub>2</sub>) de lasboog en het smeltbad beschermen tegen invloeden van buitenaf. Men verwacht dat gasbooglassen het handlassen meer en meer zal verdringen, omdat dit proces zich goed leent voor automatisering. Zie verder het artikel van prof. G. den Ouden op pag. 558 e.v.

(Foto: Fotopersbureau Paul Mellaart, Maastricht m.m.v. Staalbouw Eysden, Eijsden).

NATUUR en TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en Administratie:

Voor Nederland: Op de Thermen, Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Telefoon: 043-54044\*.

Voor België: Tervurenlaan 62, 1040-Brussel. Telefoon: 0031-4354044.

Advertentie-exploitatie: D. Weijer. Tel. 05987-23065.

Hoofdredacteur: Th. J. M. Martens.

Redactie: Drs. L. A. M. van der Heijden, Drs. L. A. de Kok, Drs. H. R. Roelfsema,

lic. P. Van Dooren en J. A. B. Verduijn. Redactiesecretaresse: T. Habets-Older Juninck.

Redactiemedewerkers: A. de Kool, Dr. C. M. E. Otten, Drs. Chr. Titulaer en Dr. J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir. J. D. van der Baan, Dr. P. Bentvelzen,

Drs. W. Bijleveld, Drs. C. Floor, Dr. F. P. Israel, R. J. Querido, Dr. A. R. Ritsema, Dr. K. Weyer.

Redactie Adviesraad: Prof. dr. W. J. van Doorenmaalen, Prof. dr. W. Fiers,

Prof. dr. J. H. Oort, Prof. dr. G. W. Rathenau, Prof. dr. ir. A. Rörsch,

Prof. dr. R. T. Van de Walle, Prof. dr. F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Grafische vormgeving: H. Beurskens en M. Verreijt.

Druk: VALKENBURG offset, Echt (L.). Telefoon 04754-1223\*.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): Voor Nederland: f 79,25. Losse nummers: f 7,20 (excl. verzendkosten). Voor België: 1515 F. Losse nummers: 140 F (excl. verzendkosten). Abonnementen overige landen: + f 32,50 extra porto (zeepost) c<sup>f</sup> + f 45,— tot f 100,— (luchtpost).

Abonnementen op NATUUR en TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari óf per 1 juli, doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar. Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen: Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties: Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).



ISSN 0028-1093

Een uitgave van



**Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.**

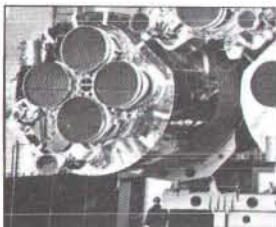
pag. 502-517



### B. Tadema Sporry - Rijstbouw op Bali - Wonderlijke ineenstrengeling van mystiek en techniek.

Op Bali, een van de eilanden van de Indonesische archipel, verbouwt men al eeuwenlang rijst in terrasbouw. De rijstbouw geschiedt onder leiding van de soebak, een coöperatieve landbouwvereniging, die onder meer zorgt dat de rijstakkers optimaal benut worden en het beschikbare water zo eerlijk mogelijk verdeeld wordt. Toch zou rijstbouw zonder de hulp van de goden op deze manier niet mogelijk zijn. De rijstbouw op Bali is doortrokken met religieuze rituelen waarbij gefeest wordt ter ere van de goden.

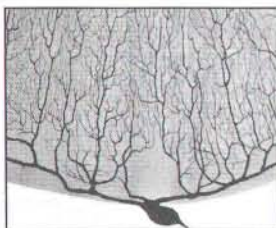
pag. 518-537



### H. F. R. Schöyer en P. A. O. G. Korting - Raketmotoren - Van vuurpijl tot energie-opwekking.

Raketten zijn inmiddels zo'n 800 jaar bekend. Ruimtevaart werd echter pas goed mogelijk na de Tweede Wereldoorlog, dank zij de ontwikkeling van gigantische vloeibare stuwstofraketten. In dit artikel wordt niet alleen een historisch overzicht gegeven; ook wordt ingegaan op de Nederlandse ontwikkelingen. Zeer verrassend is dat daarbij nieuwe onverwachte toepassingen aan de horizon verschijnen die energie-opwekking met een zeer hoog rendement en 'schone' vuilverbranding mogelijk lijken te maken.

pag. 538-557



### H. J. Groenewegen en J. J. L. van der Want - Neuroanatomie - Kleur in een grijze wereld.

Inzicht in de structuur en functie van de grootste 'telefooncentrale' ter wereld, de hersenen, is pas goed mogelijk geworden sinds de toepassing van licht- en elektronenmicroscopen. Een zo mogelijk nog groter aandeel in de groei van kennis over zenuwcircuits op microniveau hebben diverse kleur- en merktechnieken. Door deze vormen van spoorzoeken op de vierkante millimeter is een functionele inkleuring van grote delen van de grijze en witte massa, in dit artikel de kleine hersenen van de kat, gerealiseerd.

pag. 558-573



### G. den Ouden - Booglassen van metalen.

Het lassen, en in het bijzonder het booglassen, is in de afgelopen eeuw de meest toegepaste verbindingstechniek geworden. Zo wordt booglassen onder meer toegepast bij de bouw van schepen, auto's, bruggen, ketels, apparaten, machines en de aanleg van pijpleidingen. Ondanks de vele voordelen van deze techniek, blijken er ook enkele nadelen aan verbonden te zijn. Deze nadelen kunnen door optimale keuze van lasparameters beperkt worden. Ook ontstaan er tijdens het lassen warmte, schadelijke dampen en straling die elk maatregelen vereisen.

pag. II-IV  
pag. 574-578

Lezers schrijven.

**Actueel:** Chemieonderwijs en maatschappij; Hitchcock's 'birds' werkelijkheid; Lucy's oudere broer; Spaanse zon gevangen; Grijs gat weer gevuld; Bijen eten DDT.

### Reacties op 'Irrationele argumenten overspoelen rationele argumenten'

*Het stuk van professor Colenbrander was voor mij in zekere zin een openbaring. Kernsplijting uitleggen als lucifers aansteken lijkt me een goed idee voor eenvoudige zielen. Maar dat is niet het punt.*

*Voor mij was het meest verbazingwekkend, dat iemand van wetenschappelijke status van mening kan zijn dat er zo iets bestaat als absolute rationaliteit. Natuurlijk moeten we streven naar een redelijk afwegen van ter zake doende argumenten, maar aan iedere stellingname kleven bepaalde irrationele vooronderstellingen. Het is uitstekend dat geprobeerd wordt deze voor één bepaalde visie onder woorden te brengen, mits dit op een serieuze en verantwoord manier gebeurt. Daarbij is men over het algemeen beter gebekt, maar minder doordacht naarmate men meer de stellingname van de 'andere kant' op irrationaliteiten onderzoekt. Het zou wetenschappelijk meer waarde hebben, wanneer men eigen irrationaliteit onder ogen zou trachten te zien, maar het vereist meer distantie en meer inspanning en het resultaat kan soms nogal ontluisterend zijn. Het vraagt moed.*

*Dit is een scherp stuk. Dat is ook de bedoeling. Ik heb in mijn meest sombere momenten, waarin ik mij verbijsterd afvroeg wat die voorstanders van kernenergie zo ongenueanceerd optimistisch maakt, wel eens gedacht, dat het de irrationele godsdienstige voorstelling moet zijn van een door een Hogere Macht altijd ten goede geleide mensheid. Het optimisme van 'er kan niets mislopen met de schepping van God'. Ik heb er nooit over gedacht een dergelijke ongenueanceerde stellingname van mijzelf in de openbaarheid te brengen. Ik heb dat zelfs niet gedaan in 'buurvrouwkoffiepraatjes' behalve misschien één maal, waar ik mij nog voor schaam. Ik ben wel van mening dat voorstanders van kernenergie te optimistisch zijn over de toekomstige mogelijkheden voor het "voor honderdduizenden of zelfs miljoenen jaren" lekvrij opbergen van radioactief afval (zie J. D. Fast, (1980). *Energie uit atoomkernen*. Centr. Uitg. B.V., Maastricht, pag. 153).*

*Wat voor mij onaanvaardbaar is in kernenergie is de onomkeerbaarheid van schade aan menselijk (en overig aards) genoom en milieu. Daarnaast is echter de geest uit de fles en wordt kernsplijting over de gehele wereld toegepast. In deze omstandigheden zal met betrekking tot kernenergie ook gezocht moeten worden naar wegen ter versterking van de internationale controle.*

*Hierbij daag ik professor Colenbrander uit, in het kader van de Brede Maatschappelijke Discussie, mij uit te leggen hoe hij in redelijkheid een (misschien kleine) kans op een onomkeerbare schade aan het menselijk genoom kan accepteren.*

*In de tweede plaats is het plezierig, dat iemand nu eindelijk een rationele oplossing voor het afvalprobleem heeft. Zou deze misschien bekend gemaakt kunnen worden?*

*In de derde plaats is deze discussie wel breed, maar niet zo breed dat er metaforen van schooljongens, hinnikende stokpaardjes en tweederangskunstenaars in thuis horen.*

**Mevr. C.J. Petrus Blumberger**  
Nijmegen

---

*Dit is een reactie op het stuk 'Irrationele argumenten overspoelen rationele argumenten' van prof. dr. M. C. Colenbrander in *Natuur en Techniek* 5/82. Ik vond het noodzakelijk deze reactie te schrijven omdat het artikel vrij eenzijdig tegen de genoemde beslissingen en problematiek aankijkt.*

*Ik vind het betreuenswaardig dat een zo'n hooggeleerd persoon als prof. dr. M.C. Colenbrander zo'n onvolledig beeld van zaken geeft. Ik vind het onterecht dat de redactie zijn artikel zo'n hoge status geeft door het in dit blad te zetten. Ik hoop dat ik hieruit niet de conclusie moet trekken dat alle artikelen in het blad zo eenzijdig verschillende onderwerpen benaderen.*

*Ik ben het met prof. Colenbrander eens dat discussies dienen om anderen te overtuigen op grond van deugdelijke argumenten. En dat lukt soms, maar vaak (geheel) niet. Prof.*

Colenbrander vindt dat een bezwaar, hij zegt "de discussie heeft niets opgeleverd". Maar meningsvorming is een proces, iets wat moet broeien en/of doordringen. Niemand was direct overtuigd dat de aarde rond was. Vooral bij complexe vraagstukken waaraan vele facetten zitten vraagt het veranderen van een mening veel tijd. Ook al omdat sommige argumenten gebaseerd zijn op een politieke overtuiging. Deze politieke ideeën blijven vaak onbesproken tijdens een discussie, maar vormen een belangrijke toetssteen bij de beoordeling van de argumenten.

Het eerste genoemde voorbeeld is de discussie omtrent de fluoridering van drinkwater. Fluoridering dringt inderdaad het tandbederf statistisch significant terug. De fluoridering lijkt met de huidige medische kennis voor niemand bedreigend. Toch is fluoridering van drinkwater afgestemd. Voor prof. Colenbrander onbegrijpelijk. Hij probeert dit te verklaren m.b.v. de psychologie. Ik vind dat hij hier in zijn artikel tweemaal gemeen naar mensen met een andere mening trapt. Hij 'vergeet' de tegenargumenten van de fluoridering op te noemen. De tegenargumenten die, met politieke en psychologische achtergronden, een afstemming van de fluoridering tot gevolg hebben gehad.

- Waarom de keuze het tandbederf via fluoridering van het drinkwater aan te pakken i.p.v. verbetering van het voedselpatroon of van het voedsel zelf?

- Chronische fluoride intoxicatie is mogelijk. De ziekte wordt 'crippeling fluorosis' genoemd. Een rachitisachtige stoornis (Engelse ziekte) met belemmerde groei, verzwakking en verkromming van de botten.

- Fluoride is een dodelijk gif wanneer het gebruikt wordt in voldoende hoeveelheid. (Zie ook Paracelsus). Hoe groot is de kans dat door een storing, menselijke fout etc. mensen vergiftigd worden? Hoeveel mensen kunnen dan vergiftigd worden? Misschien is de kans wel heel klein en het aantal mensen eventueel zeer gering. Maar zeker is dat de kans groter is en het aantal meer is dan wanneer je de mensen zelf laat beslissen of ze en op welke manier ze fluoride tot zich willen nemen.

- Mag een overheidsapparaat of een bevolkingsvertegenwoordiging beslissen of een algemeen probleem op een zodanige wijze wordt aangepakt dat het individu geen beslissingsmogelijkheid meer heeft? Misschien is het volgende probleem de overbevolking. De aanpak (zie tandbederf); de pil of een ander anti-conceptiemiddel in het drinkwater.

- Fluoridering is wettelijk verboden. Volgens het drinkwaterbesluit mogen alleen die stoffen aan het drinkwater worden toegevoegd die de kwaliteit van dit drinkwater verbeteren. Er mag dus geen fluor worden toegevoegd.

De eerste vier argumenten kunnen doen besluiten geen fluoride in het drinkwater te doen. Van belang is dan de politieke achtergrond bij de afweging van deze argumenten.

Met betrekking tot het eerste argument: De overheid zou meer preventief dan probleemoplossend moeten werken. Verbetering van voedsel en voedselpatronen kunnen ook andere gezondheidsproblemen helpen voorkomen, dan alleen tandbederf.

Met betrekking tot het vierde argument: De overheid moet bij problemen aan de mensen aangeven wat de mogelijkheden ter oplossing van deze problemen zijn. De mensen kunnen dan zelf beslissen voor welke mogelijkheid zij wel of niet kiezen. Dit is een politieke mening die iemand zou kunnen doen besluiten de fluoridering af te stemmen. Een rationeel argument toch?

Voor wat betreft de theorieën van prof. Colenbrander over 'het genie' en 'godsdiensstige gevoelens', deze theorieën kloppen aardig, alleen zijn zij niet waar.

Over kernenergie; ook daar zijn rationele tegenargumenten. Blijkbaar worden zij niet als 'rationeel' erkend.

- Ik ben tegen steeds verdergaande centralisering en verhoging van potentiële gevaren bij de energievoorziening. Wanneer ik met een lucifer dom doe, dan verbrand ik mijn vingers. Doe ik dom met een kerncentrale dan..... gebeurt er iets ergers met mij, maar ook met heel wat meer mensen.

- Niemand kan zekerheid geven over de veiligheid van de verschillende kernafval-opslag-systemen.

— Is kernenergie echt goedkoper? Ook als alle kosten voor extra bewaking etc. worden meegenomen?

— Ook kernenergie, volgens de methode van kernsplitsing, heeft een beperkte brandstofvoorraad in de wereld.

— Ook met kernenergie zijn we afhankelijk van politieke willekeur.

— Kerncentrales geven de mogelijkheid tot de bouw van kernwapens. Daarom Hiroshima en Nagasaki.

Er is een kloof van angst die mensen gescheiden houdt, zoals prof. Colenbrander zegt. Maar die angst leeft niet alleen bij tegenstanders van de kernenergie. Vanwaar de angst dat de geheime cijfers over ongelukken, doden en gewonden bij kerncentrales bekend zullen worden? Vanwaar de angst dat indringers iets zullen doen met kerncentrales bij bewaking en directies van deze centrales? Vanwaar de angst dat er geen centrales gebouwd mogen worden? Of dat Dodewaard en/of Borssele gesloten worden?

Laat iedereen elkaar benaderen zonder angst. Laat iedereen vertellen wat hij of zij weet, denkt en voelt. Pas hierna kan de eigenlijke brede discussie over de energievoorziening beginnen. En kan bij iedereen een proces van meningsvorming op gang komen.

**Rob Smits**  
Wageningen

---

### Antwoord

Naar mijn oordeel moeten zowel de voordelen als de nadelen van iedere nieuwe techniek, dus ook van kernenergie, zoveel mogelijk in cijfers worden uitgedrukt. Eerst dan kan men een balans opmaken en beslissingen nemen. En een beslissing nemen wil niet zeggen dat men de argumenten van de tegenstanders niet erkend heeft. Bij dit kwantificeren behoort, behalve het openlijk erkennen van menselijke fouten, ongetwijfeld ook een vergelijking met de risico's die nog aanvaardbaar worden geacht. Dat geldt niet alleen voor gezondheids-

vraagstukken, zoals het al-of-niet inenten tegen virusziekten met een kleine kans op hersenontsteking door de inenting, jodium in het zout voor gebieden waar endemische krop voorkomt en kleine hoeveelheden fluor in het drinkwater van fluor-arme gebieden. Men kan de mensen niet altijd zelf laten beslissen wat goed voor hen is. Het geldt ook voor verkeersvraagstukken. Statistieken wijzen uit hoe groot de kans is op een dodelijk ongeval per kilometer voor het reizen met de trein, het vliegtuig en de auto. Op grond van aanvaardbare risico's worden maximum snelheden bepaald. Het opmaken van een balans geldt zelfs voor oorlogshandelingen.

Dit vergelijken met wat aanvaardbaar is geldt niet alleen voor persoonlijke ongelukken, maar ook voor het aantasten van het erfelijk materiaal, bijvoorbeeld door kosmische stralen. Men mag niet vergeten dat de hele evolutie te danken is aan blijvende wijzigingen van erfelijk materiaal, zij het ook gepaard aan de uiterst onbarmhartige wedijver om te overleven, en dat een aanzienlijk aantal van deze mutaties door straling is teweeg gebracht.

De bedoeling van de bijdrage is geweest om speciaal de voorstanders van de kernenergie te wijzen op de irrationele argumenten, die de rationele argumenten overspoelen. Zij zien de mens niet als een geheel, met rationele en met irrationele kanten. Zij hebben geen oog voor de irrationele argumenten van hun tegenstanders, evenals die doof lijken voor de rationele argumenten van de voorstanders. Men praat langs elkaar heen.

En toch moeten we met elkaar trachten de rationele argumenten te laten winnen van de irrationele argumenten. Dat gebeurt niet met miskenning van elkaars bedoelingen.

**Prof. dr. M.C. Colenbrander**  
's-Hertogenbosch

**B. Tadema Sporry** ('Rijstbouw op Bali') werd op 16 februari 1912 te Makasar, het tegenwoordige Ujung Pandang, geboren en is daar ook opgegroeid. Zij is publiciste en heeft inmiddels 38 boeken geschreven, o.a. over Egypte en Indonesië. Zij reist veel over de wereld samen met haar man die de dia's en foto's bij haar artikelen en boeken verzorgt.

**Ir. H. F. R. Schöyer** ('Raketmotoren') werd op 30 augustus 1940 in Gorinchem geboren. Hij studeerde van 1958 tot 1966 vliegtuigbouwkunde aan de TH Delft. Vanaf 1966 is hij wetenschappelijk medewerker van de Afd. luchtvaart- en ruimtevaarttechniek van de TH Delft. Van 1969 tot 1971 was hij werkzaam op het Jet Propulsion Laboratory in Pasadena.

**Ir. P. A. O. G. Korting** ('Raketmotoren') werd op 7 december 1953 in Middelburg geboren. Hij studeerde van 1972 tot 1978 Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek aan de TH Delft. Vanaf 1978 is hij wetenschappelijk medewerker op het Prins Mauritslaboratorium TNO en werkzaam op het gebied van raketvoortstuwing.

**Dr. H. J. Groenewegen** ('Neuroanatomie') werd op 27 november 1950 te Pijnacker geboren. Hij studeerde van 1967 tot 1972 geneeskunde te Leiden waar hij in 1978 promoveerde. Van 1978 tot 1981 was hij wetenschappelijk medewerker aan de Vrije Universiteit te Amsterdam en vanaf 1981 is hij verbonden aan het Dept. of Psychology and Brain Science van het Massachusetts Inst. of Technology te Cambridge, USA.

**Drs. J. J. L. van der Want** ('Neuroanatomie') werd op 1 oktober 1949 te Ede geboren. Hij studeerde biologie van 1968 tot 1975 te Leiden. Van 1975 tot 1978 was hij verbonden aan de Afd. Anatomie en Embryologie te Leiden en vanaf 1978 aan het Interuniversitair Oogheelkundig Instituut te Amsterdam.

**Prof. dr. G. den Ouden** ('Booglassen van metalen') werd op 4 augustus 1935 te Mijdrecht geboren. Hij studeerde natuurkunde van 1953 tot 1957 aan de Vrije Universiteit en van 1959 tot 1962 aan de Universiteit van Amsterdam waar hij in 1971 promoveerde. Van 1962 tot 1965 was hij Research Associate aan de University of Illinois, van 1965 tot 1972 wetenschappelijk medewerker van Philips' Nat. Lab., van 1972 tot 1975 Hoofd Ontwikkeling en van 1975 tot 1980 Technisch Directeur van Philips Lastechiek Utrecht. Vanaf 1980 is hij hoogleraar aan de TH Delft.

## Nul-groei

*Van de redactie van dit blad mag ik (bijna) alles schrijven, maar het woord 'bezuiniging' willen ze niet meer zien. Daar is natuurlijk van alles op te bedenken. Gewoon een nieuw woord voor hetzelfde, bezwending, om maar wat te noemen. De overheid zelf geeft van zulk taalgebruik het grote voorbeeld. Zoiets heet tegenwoordig een 'beleidsombuiging', hoewel dat eigenlijk iets heel anders is, nl. met nieuwe middelen een nieuw doel nastreven, maar sinds de wet Openbaarheid bestuur voelt ook de overheid zich somwijlen gedwongen tot zwart-handel in taal.*

*Net als in vele andere gevallen kan de overheid zich geruggesteund weten door het bedrijfsleven. Ook daar kennen we de prachtigste termen voor bezwending. Bekend is natuurlijk de 'afslanking', die weinig met weight watching van doen heeft, want het denkbeeld is dat het bedrijf economisch aan gewicht zal winnen. Het is gewoon een ander woord voor ontslag.*

*Er worden fraaie vondsten gedaan, waarvan men kan vermoeden dat er in elk geval enkele public relations bureaus wel bij varen. Woorden als nul-min-operatie, heroverweging en re-allocaatie verzin je niet op een achternamiddag, daar komt een team van beroepsverhullers aan te pas.*

*Een hele mooie is natuurlijk ook 'nul-groei-model', maar het verschil met de andere termen is, dat deze toch nog iets anders betekent dan gewoon - hoe was het ook weer? - bezwending. Nul-groei is zo ongeveer wat er feitelijk overblijft van bezwending na alle protesten, politieke vriendendiensten en touwtrekkerij.*

*Dit verschijnsel is in politiek wel zeer onverdachte kring geanalyseerd en gevaarlijk bevonden. De kring is de club van waaruit mr. Luns nu al weer bijna evenveel jaren onze binnenlandse zaken behartigt als hij destijds van Nederland uit onze buitenlandse zaken verzorgde (toen lukte dat ook al niet altijd, maar dat is meer iets voor het Nederlandsch Tijdschrift voor geschiedenis), de Noord-Atlantische Verdragsorganisatie (NAVO).*

Die NAVO heeft een wetenschapscommissie en die wetenschapscommissie heeft gezien dat nul-groei in de wetenschap tot problemen leidt. In de praktijk komt die nul-groei erop neer dat een leiding (Raad van Bestuur van een onderneming, regering) tegen een universiteit, onderzoeksinstituut of laboratorium zegt: "de koek is op, jullie moeten het voorlopig doen met wat je hebt, wat jullie doen begrijpen we toch niet, maar zorg wel, dat je evenveel blijft opleveren als nu."

De aangesproken onderzoekers kunnen weinig anders doen dan deemoedig knikken of twee keer foei zeggen, maar ze krijgen gewoon niet meer dan ze krijgen - als instituut. Als individu krijgen de mensen die binnen zijn braaf elk jaar hun periodieke verhoging. En ze blijven uiteraard zitten, want andere instellingen hebben dezelfde boodschap gekregen en daar kunnen ze dus niet heen. Het gros van de huidige onderzoekers is tussen 35 en 50 jaar oud, dus ze kijken ook wel uit met weggaan: in verhouding tot hun huidige salaris (en de daarop afgestemde verplichtingen als hypotheek en zo) zijn twee jaar maximum WWV en dan bijstand lachwekkende fooien.

Het resultaat is, dat bij gelijkblijvend budget (ik zou het niet over bezuinigingen hebben) er een steeds kleiner deel beschikbaar is voor andere dan personele kosten. En omdat het gebouw gewoon op het budget blijft staan en de verwarming er ook niet goedkoper op wordt, is er zo langzamerhand geen cent meer beschikbaar voor nieuwe apparatuur, zodat feitelijk het hele onderzoek op een laag pitje komt.

Een tweede gevolg is, dat er hoegenaamd geen jonge onderzoekers een baan krijgen. De NAVO-commissie maakt zich in haar rapport weinig zorgen over de werkloosheid onder jonge afgestudeerden zelf, maar ziet een dubbele bedreiging voor de wetenschap.

De eerste is dat "hoewel inmiddels duidelijk is dat onderzoekers van alle leeftijden werk van gelijk niveau kunnen leveren" toch jongeren onmisbaar zijn voor de dynamiek van het wetenschapsbedrijf. Van mij mag het zo wel gesteld worden, maar een wat hardere onderbouwing van die stelling zou volgens mijn mening geen kwaad kunnen.

Het doet er niet zoveel toe, want er is een tweede argument dat wel een spijkerharde logica bezit: Gezien de huidige leeftijdsopbouw duurt het nog vijftien jaar voordat er aan opvolging kan worden gedacht - een jaar of tien als je serieus aan vervroegd pensioen zou denken. De stilstand in benoemingen is nu al een jaar of wat gaande. Met andere woorden, we zitten straks met een generatie van tegen die tijd zeg 25 tot 45 jaar die geen ervaring heeft met onderzoek. Er zijn dan alleen nog 55-jarige routiniers die de studenten mogen vormen en het vuur mogen doorgeven aan 25-jarigen zonder ervaring. Op die manier gaat elke continuïteit ontbreken.

De commissie heeft wijze raad zowel voor de onderzoekers als voor beleidsmakers. De onderzoekers zullen om te beginnen in de gegeven situatie salaris moeten opgeven om apparatuur te kopen - in feite dus apparatuur uit eigen zak betalen; dat deden de vroeg-18e-eeuwse onderzoekers ook al. Verder zullen ze niet teveel aan hun specialisme moeten vasthouden. Er zijn nu eenmaal geen nieuwe mensen of instituten om nieuwe terreinen aan te pakken, en dus zullen de oude onderzoekers dat moeten doen. De commissie is ook tegen het opkomende nepotisme, waarbij de schaars vrijkomende banen aan goede bekenden (bijv. eigen studenten) worden gegeven en niet altijd aan de beste. Voor nieuw werk zal ruimte moeten worden gemaakt door minder belangwekkend onderzoek af te kappen.

Dan nog is nul-groei niet genoeg. Om continuïteit in het onderzoek te houden zal er elk jaar toch een 3 procent van de totale bezetting aan jong volk moeten worden binnengehaald en dat betekent bij het minimale verloop van tegenwoordig, dat er toch een kleine, maar merkbare stijging van het budget nodig is.

Nu hoort u het ook eens van een (heel!) ander.

A. de Kool

## Beheersing en verwondering

---

Bij het aanvaarden van zijn hoogleraarschap in de scheikunde aan de Rijksuniversiteit te Groningen hield, een hele tijd geleden alweer, prof. dr. J. Kommandeur een rede onder de titel 'Kan jij een aardappel maken?' Die titel was ontleend aan een incident in de tijd dat hij net was afgestudeerd. Dat was in zijn omgeving natuurlijk bekend. Een boer, waar hij in de vakantie hielp met aardappelen rooien vroeg wat hij allemaal had geleerd. Na een tijdje schudde hij het hoofd. "Jullie kunnen wel veel hè?" De jonge doctorandus bevestigde dat. De boer nam een aardappel op, keek ernaar en zei: "Kan jij een aardappel maken?"

We werden hieraan herinnerd door de artikelen van Schöyer en Korting en van Tadema Sporry in dit nummer. De artikelen hebben veel gemeenschappelijk. Om te beginnen staan ze samen in één nummer van één tijdschrift. En dat is terecht. De auteurs van beide artikelen zijn weliswaar onmiskenbaar betrokken bij hun onderwerp (zou iemand serieus onderzoek kunnen doen aan een onderwerp waarbij hij of zij niet betrokken is?), maar ze nemen er duidelijk kritisch afstand van in de manier waarop ze schrijven.

In beide artikelen wordt ook een sterk overeenkomstige systematiek gehanteerd. Beide bevatten verwijzingen naar een ver verleden, beide gaan van een meer algemene beschrijving en analyse over naar een meer specifieke: het Nederlandse onderzoek in één geval, de gebeurtenissen in één groeicyclus in het andere. Beide plaatsen de gang van zaken die ze beschrijven steeds in een maatschappelijk verband: de dingen gebeuren niet zo maar, maar ze hebben een maatschappelijk nut, al is het nut van raketten een ander dan dat van rijst.

Raketten zijn dan ook echt andere dingen dan rijst. Het gaat er dan nog niet om, dat er in het Balinees één woord bestaat dat zowel rijst als leven betekent, en dat voor veel mensen op dit moment raket vooral een ander woord is voor dood. Het gaat er vooral om, dat raketten worden gemaakt, maar dat rijst, evenmin als onze eigen aardappel, door een wetenschapper te maken is.

Het staat niet vast, dat de rituelen van het raketonderzoek minder gecompliceerd zijn dan die bij de rijstbouw op Bali. Natuurlijk, de eerstgenoemde rituelen hebben een strikte logica, maar vanuit een bepaald oogpunt hebben de rituelen rondom de rijst dat ook. Die logica past in het besef dat men veel kan doen om het de rijst mogelijk te maken te groeien, maar dat men met alle technische hulpmiddelen (en de auteur maakt duidelijk dat men die niet moet onderschatten) geen rijst kan maken. Raketten wel.

Misschien kan men het beste spreken van een logica van de verwondering op Bali, tegenover een logica van de beheersing in Rijswijk en Delft. Het verschil is groot, maar toch kunnen ze niet zonder elkaar. Zonder een blijvende verwondering als motor voor onderzoek is beheersing een illusie.

---

**B. Tadema Sporry**  
*Heemstede*

Op Bali, een van de eilanden van de Indonesische archipel, verbouwt men al eeuwenlang rijst in terrasbouw. De rijstbouw geschiedt onder leiding van de soebak, een coöperatieve landbouwvereniging, die onder meer zorgt dat de rijstakkers optimaal benut worden en het beschikbare water zo eerlijk mogelijk verdeeld wordt. Hiervoor heeft men een ingenieus irrigatiesysteem met tunnels, dammen, sloten, greppels, dijken en kanaaltjes. Toch zou rijstbouw zonder de hulp van de goden op deze manier niet mogelijk zijn. Daarom is de rijstbouw op Bali doortrokken met religieuze rituelen waarbij gefeest wordt ter ere van de goden en grote offers aan hen gebracht worden.

# RIJSTBOUW OP BALI

Wanneer de rijst oogstklaar is worden er offers gebracht in verband met het afsnijden van de aren voor de twee belangrijke garven: de mannelijke van 108 halmen, die de god Visjnoe en de vrouwelijke van 54 halmen die de godin Dewi Sri voorstelt.



**Wonderlijke  
ineenstrengeling  
van mystiek  
en techniek**



## Bali, rijstland bij uitstek

Het Indonesische eiland Bali is een rijstland par excellence, al maakt de geologische gesteldheid ervan de rijstbouw niet gemakkelijk. Het karakter van het eiland met zijn vier grote vulkanen, die overigens voor buitengewoon vruchtbare grond zorgen, brengt met zich mee dat de meeste ravijnen en kloven smal en heel steil zijn. Alleen terrasbouw maakt hier de rijstcultuur mogelijk, wat een groot aantal waterbouwkundige werken noodzakelijk maakt.

Op Bali lost men merkwaardig genoeg eventuele problemen op door een beroep te doen op de hulp van de goden uit het Balinees-hindoeïstische pantheon. Daarnaast bestaat er een oeroude vorm van samenleven die in de loop der eeuwen zijn nut heeft bewezen. De gemeenschap vormt de kern van deze samenlevingsvorm, waaruit de *soebak* is voortgekomen, die de rijstcultuur op dit niveau mogelijk maakte. Zelfs in onze tijd houdt men vast aan het oude systeem en men wist het bovendien met veel succes te introduceren in de transmigratiegebieden Soelawesi (vroeger Celebes) en Kalimantan (Borneo).

Het minstens 1500 jaar oude soebaksysteem is uniek. Alleen de soebak garandeert de kleine boer voldoende irrigatiewater, het beste zaai-goed en dieren om te ploegen zo hij die niet zelf bezit. Alle waterwerken worden gemeenschappelijk en optimaal onderhouden en bewaakt. Waterroof mag niet voorkomen en meningsverschillen daaromtrent worden in soms eindeloze gesprekken altijd weer tot ieders tevredenheid opgelost, indien een goed compromis mogelijk is. Op kosten van de soebak worden de nodige, vaak kostbare feesten gevierd en de tempels onderhouden. Zolang iedereen zich aan dit systeem houdt hoeft niemand bang te zijn voor grote moeilijkheden. Men houdt zich er dan ook aan!

### Zonder goddelijke hulp kan geen dorp bestaan

Coöperatie en verenigingsleven zijn op Bali al eeuwen oud. Van deze twee punten hangt heel het leven af. Iedereen heeft zich te houden aan duizend vastgestelde regels die vaak van mond tot mond zijn overgeleverd. De regels zijn tegelijk strak en soepel. Ieder kind leert ze van jongs af aan; men leeft dank zij de gunst der goden en alleen het precies volgen van de

regels maakt het leven goed en aangenaam.

Even oud als het verenigingsleven is de vorm van het Balinese dorp. De grens van een dorpsgebied is altijd een natuurlijke: een berg of heuvel, een rivier, kloof of beek, het strand of een bos. Ieder dorp bezit een dorps- en een stichtingstempel, een *poera dalam*, een bijna onvertaalbaar woord (meestal kiest men maar voor 'dodentempel') en vaak nog andere tempels die bij badplaatsen staan. Ieder dorp bezit een *bandjar*, een dorpsvereniging die ten nauwste met de soebak samenwerkt. In het dorp bezit de bandjar een gebouw waar alles gezamenlijk wordt gedaan, van dansen en toneel tot muziek maken, van gemeenschappelijke samenkomsten tot kinderspeelplaats, van tafeltennis tot TV-kijken. In dit bandjarhuis houdt men meestal ook de soebakvergaderingen als de soebaktempel wat verder weg ligt.

### De basis van het systeem

De soebak is een coöperatieve landbouwvereniging waarvan de leden gehuwde mannen zijn die een *sawah* (rijstakker) bezitten of het land bebouwen en de distributie van irrigatiewater naar rato uitvoeren. Het water wordt betrokken uit een meer, rivier of natuurlijke bron die zo hoog mogelijk in de bergen moet liggen voor het beste rendement.

Via een bijzonder ingenieus systeem van dammen, dijken, kanalen, waterleidingen (van bamboe of gewone pijpen), sloten, verdeelwerkjes en de langs de hellingen gelegen sawahs stroomt dit water zo ver mogelijk omlaag om er maximaal gebruik van te kunnen maken. Ook de *desa's* (dorpen) krijgen hun aandeel aan water voor de tuinen, huishoudens, baden autowasplaatsen. Tijdens de regenmoesson loopt het overvloedige water via afvoergoten weg. Overigens krijgt Bali steeds meer goed drinkwater voor huiselijk gebruik. Dit systeem staat los van de soebak. Bij een ideale soebak liggen de laagste sawahs aan zee, die dan vlak en heel groot zijn.

Hoe groot een soebak is valt moeilijk vast te stellen omdat men daarvoor een landmeter nodig zou hebben. Het formaat van een soebak staat sinds eeuwen vast, volgens een overlevering waar niemand aan tornt. Men zou kunnen stellen dat een soebak, die begint op een heuvel en dan via een flauw hellend vlak tot aan het strand reikt zeker 20 km lang kan zijn. De

Een van de mooiste en oudste soebaktempels is de Poera Danoe aan het Bratanmeer bij Bedoegoel. Dit zeer diepe kratermeer levert het water voor een groot aantal soebak's. Dit heilige water wordt ook als bijzonder krachtig wijwater gebruikt. De regenval bepaalt de hoogte van de waterstand die in de regentijd met 1 tot 2 meter kan stijgen. De gehele tempel komt dan onder water te staan en is dan alleen per boot en een wankel plankiertje te bereiken.

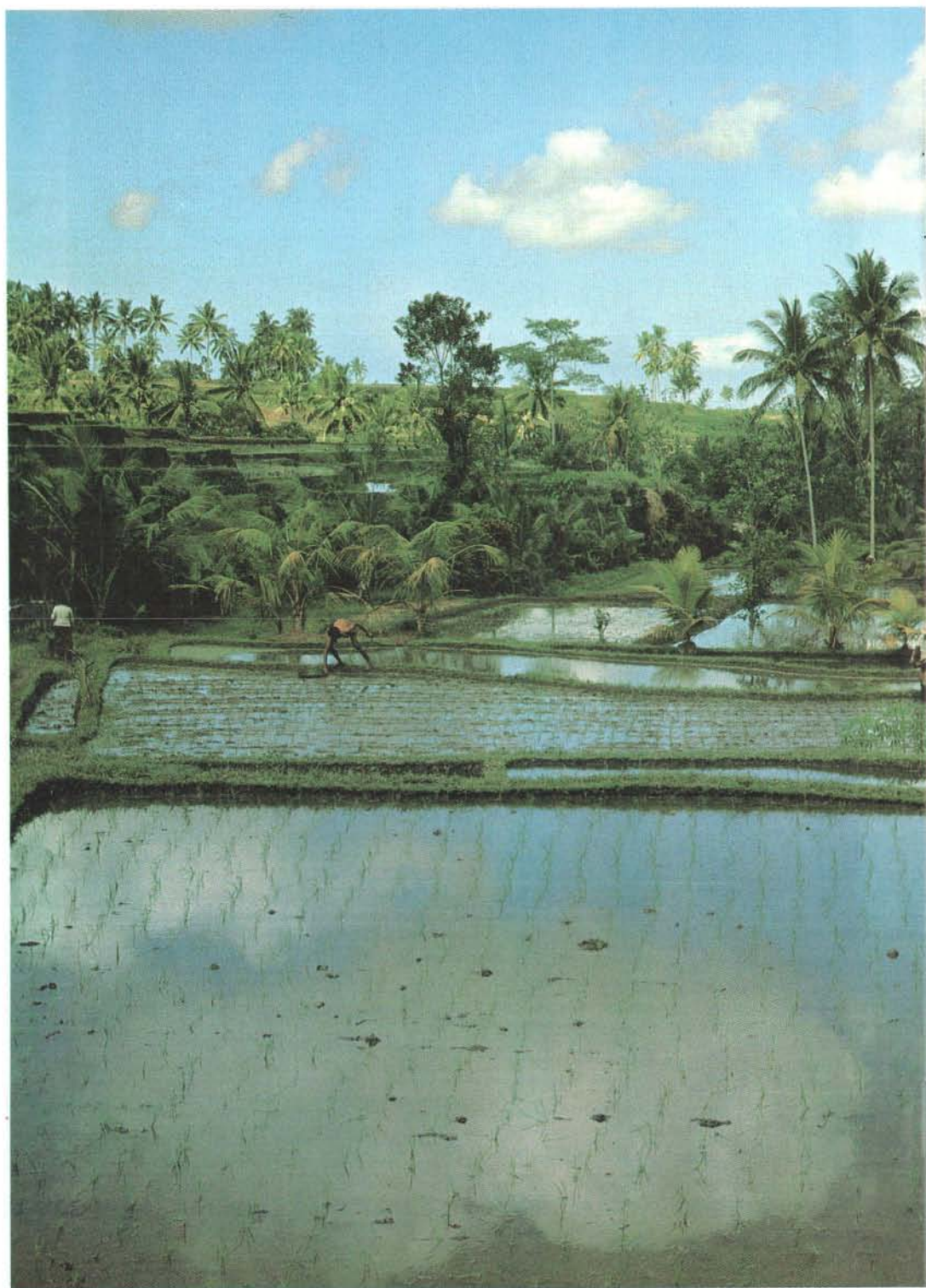


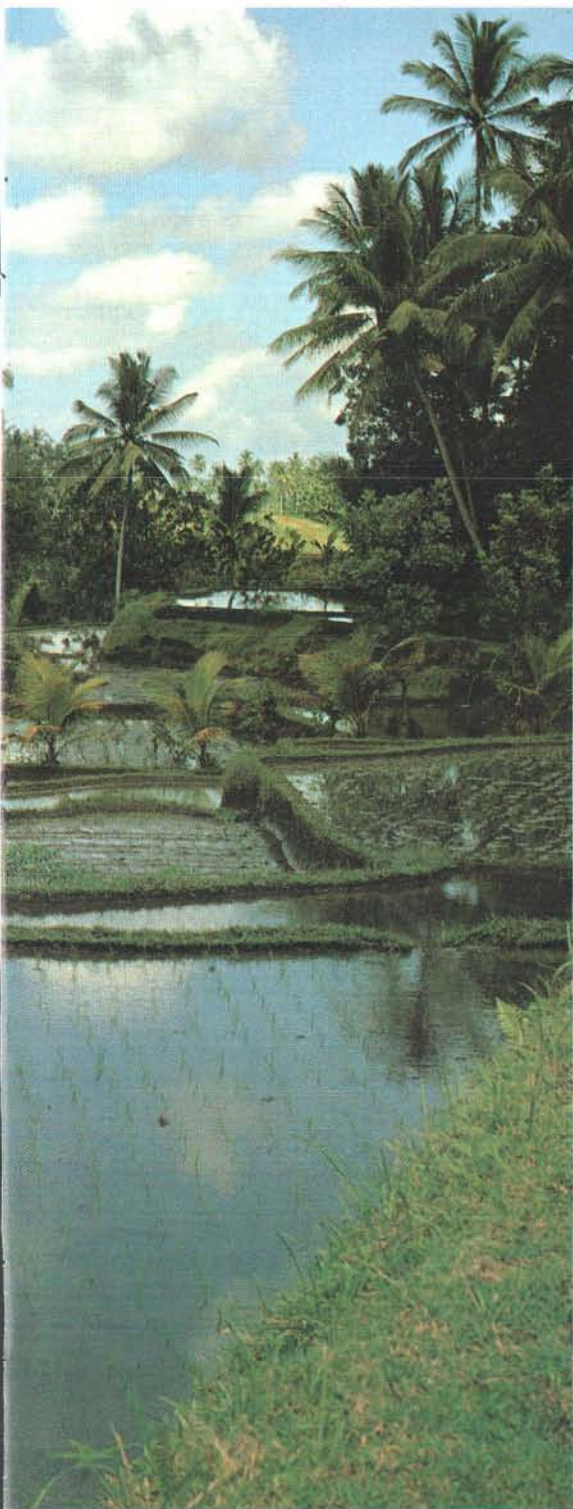
breedte echter is moeilijk te schatten gezien het zo geaccidenteerde terrein.

Soms liggen er in een soebak veel desa's die samen alle taken verrichten. Het kan ook gebeuren dat door de ligging van de sawah's één dorp tot verschillende soebak's behoort. Het aantal dorpen (stadjes) in een soebak kan variëren van drie tot vijftien en soms nog meer. Een dorp dat sawah's heeft aan weerskanten van een watervoorziening, kan, al komt dit weinig voor, tot twee soebak's behoren; ook kunnen bewoners van een zelfde dorp met sawahbezit op een iets verder gelegen plaats tot meerdere soebak's behoren. Het vaak zeer geaccidenteerde terrein is hiervan meestal de oorzaak.

Werken met de goden die hun zegen aan de rijstbouw moeten geven is niet eenvoudig en niet goedkoop. Men moet offers brengen, prachtige feesten vieren en de speciale soebaktempels onderhouden. Dit alles moet voor honderd procent goed zijn willen de goden tevreden en de mensen gelukkig zijn. Aangezien de Balinese goden ware kunstkenners zijn stellen zij hoge eisen.

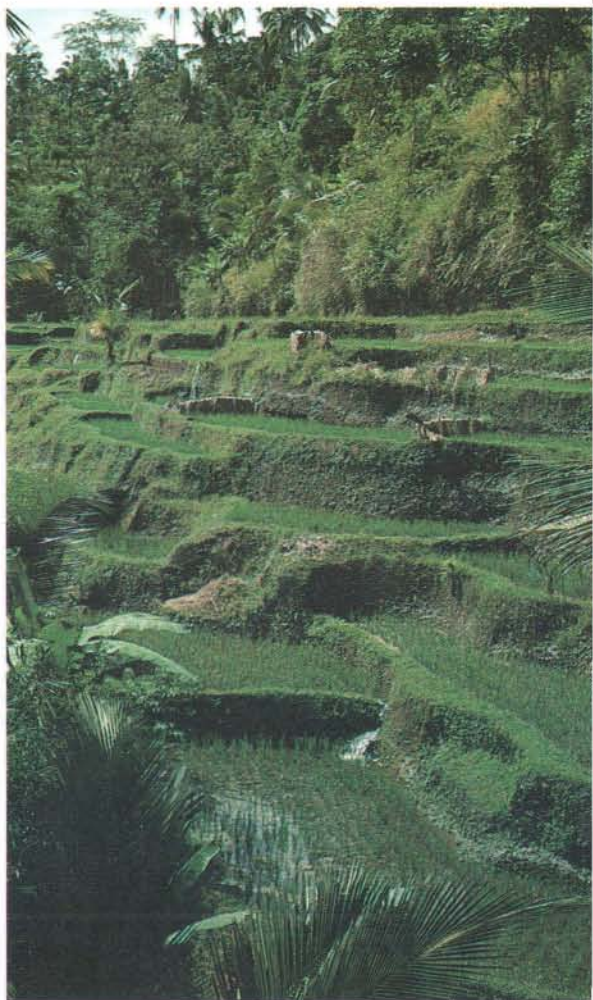
De soebakvereniging heet *sekaha soebak*. Wie er lid van is kan zich aan geen enkele taak onttrekken, hoe onaangenaam die ook mag zijn. Die taken worden overigens zoveel mogelijk uitgedeeld naar wat iemand kan presteren. Het werk wordt niet betaald, men doet het voor de gemeenschap. Wie zonder opgaaf van





reden bij een soebakvergadering verstek laat gaan, wat weinig voorkomt, wordt gestraft met een boete. Beslaglegging op de sawah's volgt indien men er blijk van geeft dat bezit niet te waarden zoals het behoort. Men kan zelfs uit de strek verbannen worden, wat neerkomt op een geestelijke dood zodat men nimmer meer kan reïncarneren. De mensen die dit overkomt treden vaak als laatste redmiddel toe tot de islam of het christendom.

De steilte van een helling bepaalt de vorm van de sawahs, die dan ook volmaakt aan het terrein zijn aangepast. De *galangans*, de lemen dijkjes rond de sawah, zijn in zo'n geval heel hoog en zwaar. Via een bamboe koker in het dijkje loopt het water van sawah naar sawah omlaag.



## Water, van boven tot beneden

In grote lijnen komt het instituut soebak op het volgende neer. Bij het waterpunt komt eerst een stuwdam om over een grote hoeveelheid water te beschikken. De hoogte van een stuwdam in ravijn of kloof hangt af van de breedte daarvan. Hoger dan acht meter zijn ze uiterst zelden, tenzij het waterpunt een meer is zoals het Bratan- of het Batoermeer. Vanaf de dam loopt rechtstreeks naar de hoogste sawah's een groot irrigatiekanaal dat een aantal aftappingsen bezit in de vorm van sloten en greppels. De aanleg van de sawah's langs de hellingen is geniaal en bovendien erg mooi. Het prachtige landschap van Bali is voor een groot deel mensenwerk, wat wel eens gezegd mag worden.

Bij een ingewikkeld sawahsysteem zijn sluizen en sluisjes en alle mogelijke soorten miniatuurdammetjes en verdeelwerkjes in het hele irrigatieproject opgenomen. Soms moet er ook wel eens een tunnel door een heuvel gegraven worden om het water naar andere hellingen te

brenge. Die tunnels kunnen wel duizend jaar oud zijn zoals bij Bedoeloe, bij de befaamde Olifantsgrot, waar deze het water naar de daarlangs stromende Pakerisanrivier voerde. De tunnel wordt wegens gevaar van aardverschuivingen nu niet meer gebruikt. De ouderdom van de bij Bedoeloe aanwezige tunnel wordt geschat op 1000 jaar aan de hand van de daar gevonden sterk verminkte en beschadigde fragmenten beeldhouwwerk. De lengte van de tunnel is niet te berekenen of te schatten, gezien het grote gevaar voor instorten.

Vastgestelde maten voor een sawah bestaan er niet.\* Iedere sawah is omgeven door een lemen dijk, de *galangan*, die 40 cm tot enige meters hoog kan zijn als de helling heel steil is. Op een sawah staat 10 tot 20 cm water. Deze hoogte is afhankelijk van de sawah. De dijk dient als looppad of om er andere gewassen op te planten, houdt het water op een bepaalde hoogte en heeft een overlaat om overtollig water af te voeren naar de volgende sawah.

De hoogte van de watervalletjes van sawah naar sawah hangt af van de steilheid van de

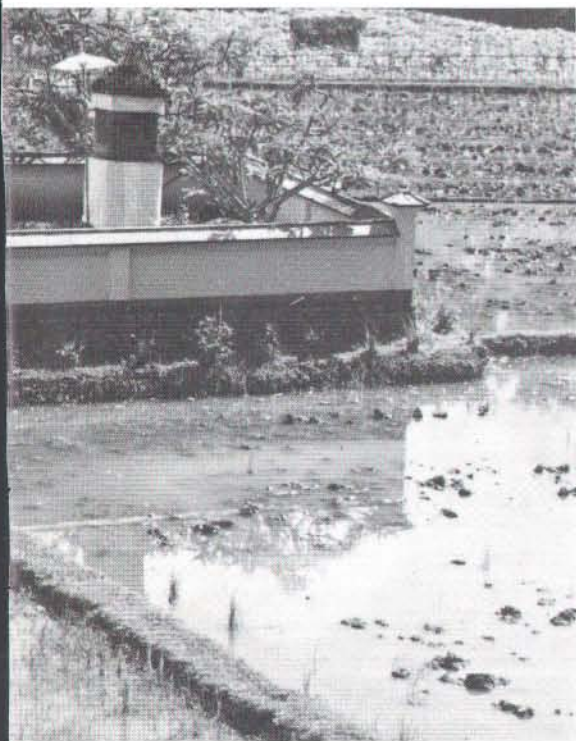
Temidden van de rijke sawah's ligt een kleine, ver van de desa gelegen soebaktempel als het centrum van een groot aantal langs de hellingen van twee steile ravijnen gesitueerde rijstvelden. Hier worden zelden soebakvergaderingen gehouden omdat de afstand van het dorp te groot is. Vergaderingen vinden daarom plaats in de desa zelf. Deze kleine tempel komt slechts 'tot leven' tijdens de voor het welslagen van de rijstbouw noodzakelijke feesten of offerandes.

\* Het is heel moeilijk om voor Bali exacte maten of tijden te geven omdat er op dit gebied eendeloos veel variaties voorkomen die meestal geheel afhangen van de plaatselijke omstandigheden. Daardoor zal men vaak genoeg moeten nemen met een ruwe schatting.



helling waarlangs ze liggen. In de buurt van de zee is de hoogte slechts enige centimeters, net genoeg om het water te laten stromen. Op een heuvel met een hoek van 30 tot 45 graden, soms zelfs 60 graden, is de hoogte tussen de 35 en 40 cm als de sawah's groot van oppervlak zijn. Bij de heel steile hellingen, waar sawah's nog worden aangelegd op een oppervlakte van 3 m<sup>2</sup>, kan een watervalletje tot 4 meter hoog zijn.

Als dat maar enigszins mogelijk is wordt van iedere vierkante meter grond een sawah gemaakt. Dit is een van de redenen waarom mechanisatie meestal onmogelijk is. Alleen de boer met zijn *patjol*, zijn hak die een oeroud model heeft, kan zo'n stukje grond bewerken. Alleen de door *sapi's*, Balinese runderen (waterbuffels worden hiervoor zelden gebruikt), getrokken even oude ploeg met de sturende handen van de boer kan de aarde op de juiste wijze en diepte omleggen. Van planten tot oogsten wordt alles met de hand gedaan en het gevolg is dat de vette, fijne aarde optimaal in orde wordt gemaakt voor de aanplant.



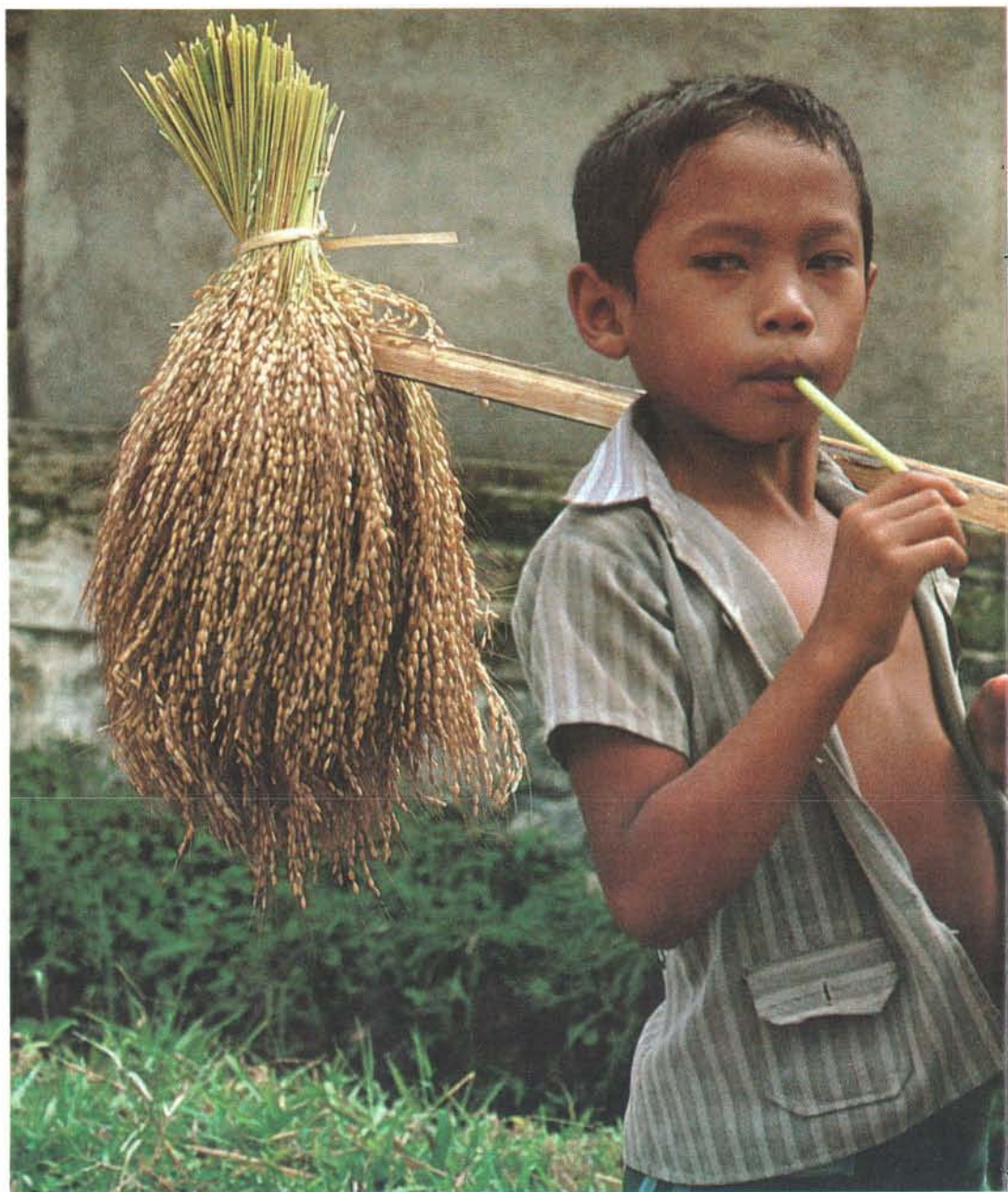
## Het soebakbestuur

Omdat de soebak van levensbelang is voor de samenleving wordt alles met de grootste ernst, eerlijkheid en begrip voor het gemeenschapsbelang verricht. De soebakvergaderingen hebben op een vaste dag plaats onder leiding van de *kliang*, de gekozen leider die in overleg alle werk regelt. Hij stelt vast wanneer het werk begint, wie toezicht moet houden op een eerlijke verdeling van het water en op het onderhoud van de sawah's. Ieder lid krijgt zijn taak toebedeeld naar zijn kennis en kunde.

De soebakplichten gaan echter veel verder dan alleen de rijstbouw. Een deel van het onderhoud van de dorpsstempel is bijv. aan de soebak toevertrouwd. Ook bij rampen die op het vulkanische eiland nogal eens voorkomen, aardbevingen en -trillingen, overstromingen, kapotte bruggen en wegen, aardverschuivingen, verleent de soebak hulpdiensten op ieder denkbaar gebied.

Het bestuur heeft enige speciale functies die vaak in wisseldiensten worden uitgevoerd. Soms is één man er vast mee belast als hij zijn functie bijzonder goed vervult. Onder de *kliang* en altijd afkomstig uit diens eigen dorp staan de *panglimans* die politiediensten uitvoeren (vooral controle). Verder zijn er de *saya's*, de boodschappers die andere soebakleden op de hoogte moeten houden van de uit te voeren werkzaamheden, wanneer ze te ver weg wonen of om andere geldige redenen een vergadering niet kunnen bijwonen. De *saya's* treden ook op als ceremoniemeester bij diverse religieuze bijeenkomsten. Zij worden voor de tijd van een maand uit de soebakleden gekozen. De *kliang* houdt het sawahregister bij. Vroeger werd dat ingeschreven in een van palmbladen vervaardigd *lontar*boek. Tegenwoordig doet men het in schoolschriften of op een groot bord. In het register staan de naam, de woonplaats en het bezit van alle soebakleden opgetekend.

Kan iemand om een of andere reden of oorzaak zijn werk niet verrichten dan mag hij een vervanger aanstellen, die hij in overleg met de anderen betaalt voor dit werk. De *thesaurier* van de soebak is een andere belangrijke man, die de delicate taak heeft boetes vast te stellen die nooit zo hoog mogen zijn dat het soebaklid in moeilijkheden komt en daardoor de gemeenschap benadeelt.



Bij het openen van de vergadering leest de klianq de rol. Daarna vermeldt hij de uit te voeren verbeteringen en reparaties. Ontvangen gelden moeten worden verantwoord, evenals diverse onkosten voor de immer en altijd

noodzakelijke offers en feesten. Voor heel belangrijke besluiten wordt gestemd volgens het systeem van 'one man, one vote', waardoor de macht van de rijken aardig aan banden is gelegd. In de soebak is iedereen gelijk aan de



ander, of hij nu veel of helemaal geen sawah's bezit. Indien iemand zoveel grond bezit dat hij die onmogelijk zelf kan bewerken moet hij de opbrengst delen met diegenen die hem bij het werk helpen.

Linksboven: Het klassieke arenlezen is ook op Bali een goed gebruik. Het is zwaar en vermoeiend werk; winstgevend is het wel als men ziet hoeveel kinderen er met garven huiswaarts kunnen keren.

Boven: Zelfs vogelverschrikkers krijgen op Bali een bijzonder originele vorm.

## Rijst is leven

Op Bali kent men voor 'rijst' en 'leven' hetzelfde woord. Vroeger mocht deze rijst alleen door vorsten gegeten worden vanwege de hoge kwaliteit. Nu vorsten officieel niet meer bestaan eet iedere Balinees Balinese rijst.

Rijst is een goddelijke plant, een bezielde vrouwelijk wezen dat alle stadia van het vrouwenleven doormaakt. Rijst wordt geboren (ontkiemen), groeit op, raakt bevrucht (de bloei), zwanger (de aren) en baart haar kind (de oogst). Daarom wordt rijst met de grootste eerbied behandeld, worden er offerfeesten bij de stuwdammen gehouden, offers gebracht bij de overlaten van de sawah's en in de soebaktempel, die meestal in een sawah ligt. Deze tempel kan ook bij een desa liggen, als deze groot en belangrijk is.

De hele cultuur is doordrenkt van het natuurbelevens. Op Bali zijn de hindoeïstische goden in wezen vergoddelijkt natuurrachten: Soerya is de zon, Visjnoe het water, moeder Aarde is vertegenwoordigd in de godin Pertiwi en de rijstplant zelf is Dewi Sri. Deze goden zijn het meest bij de rijstbouw betrokken. Over de tijd waarin het hindoeïsme in Bali doordrong is men het niet altijd eens. Volgens sommigen was dat 500 v. Chr., volgens anderen omstreeks onze jaartelling wat een modernere opvatting is.

## De aarde ligt klaar

Als de tijd aanbreekt waarop de sawah's gereed moeten worden gemaakt voor de nieuwe aanplant van rijst breekt er voor de mensen van de desa en soebak een drukke tijd aan. Reeds vanaf de eerste dag worden de goden betrokken bij alles wat er gebeuren moet. De klian, vergezeld van de *pemangkoe* (dorpspriester), trekt met vier of vijf soebakleden naar een van de vele heilige (*soetji*) bronnen of meren waarvan het water ongewone krachten bezit. Na vrij ingewikkelde ceremonieën bij deze bron wordt dit wijwater in een bamboekoker mee teruggebracht naar de desa. De bamboekoker wordt in de soebaktempel geplaatst op het altaar voor Dewi Sri (er staat soms ook een altaar voor Soerya) en een paar dagen later brengt men het naar de sawah's, die er stuk voor stuk mee besprenkeld worden. Wat overblijft giet men uit in het hoofdkanaal



In het religieuze leven speelt het hanengevecht als bloedoffer aan de uitgeputte aarde een enorme rol. Met 'wreedheid' heeft dit niets te maken!

opdat ook anderen kunnen profiteren van dit geestelijke heil. Zo wordt Dewi Sri, die nu het hele procédé in handen heeft, vanaf het begin bij de rijstbouw betrokken.

Na een of meer feesten om het seizoen te openen gaat men eerst alle afgesproken reparaties uitvoeren opdat men er voor honderd procent zeker van is dat het water op de enig juiste wijze door de soebak gebruikt wordt. Daarna gaan de grotere en kleinere sluizen open en lopen de sawah's vol, terwijl alle soebakleden een eed zweren dat ze geen waterroof zullen plegen. Grote offers en hanengevechten zorgen ervoor dat door het hierbij vloeiende bloed de aarde rein en krachtig wordt. Dat er bij die *adoe ayam* behoorlijk wordt gegokt is een prettige bijkomstigheid die echter niets te maken heeft met de soebak.

De sawah's die wekenlang in de brandende zon hebben liggen drogen, terwijl het vee het stro en de opnieuw opgeschoten rijsthalmen heeft afgegraasd, zuigen zich nu vol met water. Het vollopen van de sawah's duurt al naar ge-



De kiemplantjes worden zorgvuldig schoongespoeld opdat er geen onkruid of ongedierte uit de modder aan kan blijven hangen. Dan worden de plantjes meer

om magische dan om praktische redenen één nacht aan de lucht blootgesteld, waarna ze op de beste sawah worden uitgeplant.

lang de oppervlakte vier dagen tot omstreeks drie weken. Is de aarde door en door door-drenkt dan begint het ploegen en eggen en *patjollen* tot het vette slijk glad en fijn is. Stro en onkruid worden ondergeploegd als groenmest, terwijl indien er geld voor is ook (dure!) kunstmest wordt toegevoegd.

Intussen is er ook druk aan het zaaigoed gewerkt. Hiervoor werden de mooiste volle halmen bewaard om zeker te zijn van een prima kwaliteit. Het zaad wordt eerst twee dagen en nachten geweekt op een telkens besprenkelde mat. Als de rijstkorrels ontkiemen worden ze geplant in een uitgezocht hoekje van de beste sawah, soms met een dakje erboven tegen te felle zon. De priester heeft van te voren de gunstige dag hiervoor uitgezocht op de Balinese religieuze kalender, die 210 dagen in een jaar telt. Zes tot zeven weken later kunnen de nu smaragdgroene plantjes uit de weke grond worden losgetrokken en gebundeld worden tot kleine bosjes. Ze worden zorgvuldig uitgeespoeld en een nacht blootgesteld aan de lucht.

### De rijst is zwanger!

Het plantprocédé is doortrokken van riten, gebeden, offers en bovenal liefde voor het gewas. Dewi Sri verkrijgt het haar toekomstende via de *sari*, de essence uit de offers. Dewi Sri is de 'rijstmoeder' en stamt uit prehistorische tijden toen de grote goden 'er nog niet waren'. Het eerste offertje bij het ontkiemen van de zaden bestaat uit wat gekookte rijst en de ingrediënten voor een sirihpruim: tabak, kalk, betelnoot en sirihbladeren.

In tegenstelling tot andere delen van Zuidoost-Azië mogen op Bali alleen de mannen de rijstplantjes op de sawah's uitzetten. Op de hoogst gelegen sawah, de *pangalapan*, die het dichtst bij de waterbron ligt, wordt een klein plekje uitgezocht waar de eerste negen plantjes worden uitgezet: één in het midden en dan de andere acht daaromheen volgens de punten van het kompas. Hierbij mag niets verkeerd gaan, want dat zou rampzalige gevolgen kunnen hebben.





Tweeënveertig dagen later is Dewi Sri 'jarig'. Op alle sawah's worden kleine bamboe schrijntjes aan palen neergezet voor de nodige offers. Drie dagen lang is het feest voor de soebakleden in de tempel. Muziek, dansen en toneeluitvoeringen worden gevolgd door drie dagen van volmaakte rust, aangezien Dewi Sri nu erg vermoeid is.

De bloei van de rijst is het hoogtepunt van de cyclus. De rijst is nu zwanger en zoals iedere zwangere vrouw dol op fris-zure dingen zoals fruit, dat dan ook druk geofferd wordt.

Nu gaan de sawah's een heel gevaarlijke en kwetsbare periode tegemoet. De boze chthonische machten (aardgoden) moeten bestreden worden. Ongedierte en insecten moeten worden gedood en verjaagd, ondanks de grote



De rijstbouw op Bali is doortrokken van riten en offers. Op de foto linksboven trekken de vrouwen van de soebakleden naar de tempel met hun offers. De zaai-rijst wordt voor het planten door de dorpspriester besprenkeld en gezegend (links). De offers voor de goden liggen op schrijnen (boven). Het materiële deel van de offers is voor de armen en voor de honden en katten die er bij kunnen.

weezin die men als hindoe heeft voor het doden van enig levend schepsel. Op vele plaatsen wordt daarom één muizenpaartje gespaard, in een hokje gezet, gevoerd en later uitgezet om een nieuw muizengeslacht te verwekken! Gedode ratten en muizen worden 'gecremeerd', opdat aan de wetten van de reïncarnatie voldaan kan worden. Men houdt ook geregeld hanengevechten om de kwade machten tevreden te stellen.

Indien er geen rampen plaatsvinden zoals teveel pikkende vogels, slagregens, planteziekten kan men nu de oogst tegemoet gaan zien. Vijf maanden na het planten valt de oogst waaraan iedereen meedoet; de vrouwen snijden de rijst af terwijl de mannen en kinderen de rijst weg-

## Geborgen oogst

Dan is de tijd van de feesten aangebroken, georganiseerd door de soebakleden. Hanengevechten behoren tot de belangrijkste onderdelen, evenals dans en muziek. Maar eerst gaan op de dag vóór *oesaba*, het oogstfeest, alle mannen en vrouwen in *adat*kleding, waarbij de vrouwen de meest schitterende offers op hun hoofd dragen, naar zee als die dichtbij genoeg is of anders naar een meer. In kleine, prachtig besneden en vergulde draagstoeltjes gaan de van *kèpèngs*, antieke Chinese munten met een vierkant gat in het midden, gemaakte beeldjes van de huisgoden mee om een verfrissend bad te nemen, gezegend te worden met

Rechts: Bij het oogsten houdt de vrouw met haar pink het oogstmesje zodanig vast dat de rijst niet zal merken dat zij halmen - het kind van Dewi Sri - afsnijdt.

Geheel rechts: Hét beeld van het vruchtbare Bali: spiegelende sawah's en een ploegende boer in de buurt van de kust.

halen. Het afsnijden van de rijst gebeurt nog altijd met de primitieve *ani-ani* waarmee twee of drie halmen tegelijk worden afgesneden. Om Dewi Sri en de rijstplant niet te verschrikken (men snijdt tenslotte het kind af!) houdt men het mesje in de hand verborgen.

Drie of vier dagen vóór de oogst heeft de sawaheigenaar twee garven (bundels) rijst afgesneden, een 'mannelijke' van 108 aren en een 'vrouwelijke' van 54, die de god Visjnoe en Dewi Sri voorstellen. De periode van drie tot vier dagen tot de oogst hangt helemaal af van de plaatselijke gebruiken die van soebak tot soebak variëren. Korter of langer duurt het echter nooit. De garven worden mooi versierd met bloemen en een kleine *lamak*, een soort van palmblad gevlochten banier, versierd met een motief dat kenmerkend is voor het dorp of de streek. De garven vertegenwoordigen de hele sawah en worden later samengebonden tot de *nini pantoen*, de 'rijstmoeder' die de geborgen oogst in de rijstschuur moet beschermen. Het is de taak van de huisvrouw om deze nini naar huis te dragen en eerst in de familietempel neer te leggen. Wie zo'n vrouw op straat tegenkomt mag haar onder geen beding aanspreken. Dat zou de twee goden beledigen!



wijwater en vermaakt te worden met muziek en dans. Tegen de avond keren de huisgoden weer terug naar huis en zullen de familie goed beschermen.

Oesaba is een dag van lekker eten. Dit wordt, in tegenstelling tot het dagelijks eten, alleen door mannen toeberaid in de tempelkeuken. Men nodigt gasten uit en de hele sfeer is ontspannen en vrolijk. De tempel, waarin het feest gehouden wordt, puilt uit van de mensen die komen en gaan, terwijl massa's kinderen iedereen voor de voeten lopen, maar dat hindert niet.

Thuis wacht de rijst in de volgetaste schuur. Zolang als de rijst daar ligt opgeslagen mag er in de buurt niet hard worden gepraat of luid-

ruchtig gedaan worden. Rijst wil *altijd* met eerbied behandeld worden. Alleen een volmaakt gezond iemand mag rijst uit de schuur halen voor eigen gebruik of de verkoop. En altijd blijft in het topje van de schuur de nini pantoen hangen tot het laatste korreltje verdwenen is en een nieuwe nini haar plaats moet innemen. De cyclus begint opnieuw, terwijl Dewi Sri haar eigen soebaktempel bewaakt en wacht op de komst van haar geliefde Visjnoe, die haar opnieuw in de vorm van water bevruchten zal.

Zonder Dewi Sri en Visjnoe en zonder de andere goden en de geesten van de voorouders is het leven op Bali geen oude kèpèng waard. Zonder goden zou Bali niet bestaan.



Voor het schrijven van de aardrijkskundige namen koos ik de Nederlandse spelling, al is de Indonesische nu natuurlijk de meest gangbare. Daar deze echter voor ons moeilijk en onduidelijk blijkt door de keuze voor letterklanken, c = tj, j = dj, u = oe, etc., meende ik dat onze vertrouwde 'oude spelling' hier wel gemakkelijker zou overkomen.

Van het soebaksysteem bestaan nogal wat variaties. Wat hier beschreven is, is een soort grootste gemene deler waarvan weinig wordt afgeweken, omdat de basis in grote trekken toch gelijk is. Wie er het fijnere van wil weten zal een duik moeten nemen in de onvoorstelbaar grote hoeveelheid literatuur die in de bibliotheken van volkenkundige musea ligt opgetast. Er zijn maar heel weinig details waarover niet een groter of kleiner schriftuur bestaat want zij die ons in 'Indië' voorgingen blijken heel goed te hebben rondgekeken en bijna alles te hebben beschreven.

#### Literatuur

Bali, *kringloop van het leven*, (1965-1966). Tentoonstellingscatalogus Museum Nusantara, Delft.  
Covarrubias, M., (1972). *Island of Bali*. Jakarta. Herdruk.  
Ramseyer, U., (1977). *Art and Culture of Bali*. Oxford University Press.  
Stuart-Fox, D. J., (1974). *The Art of Balinese Offering*.

#### Bronvermelding illustraties

Alle foto's zijn gemaakt door Auke A. Tadema, Heemstede.

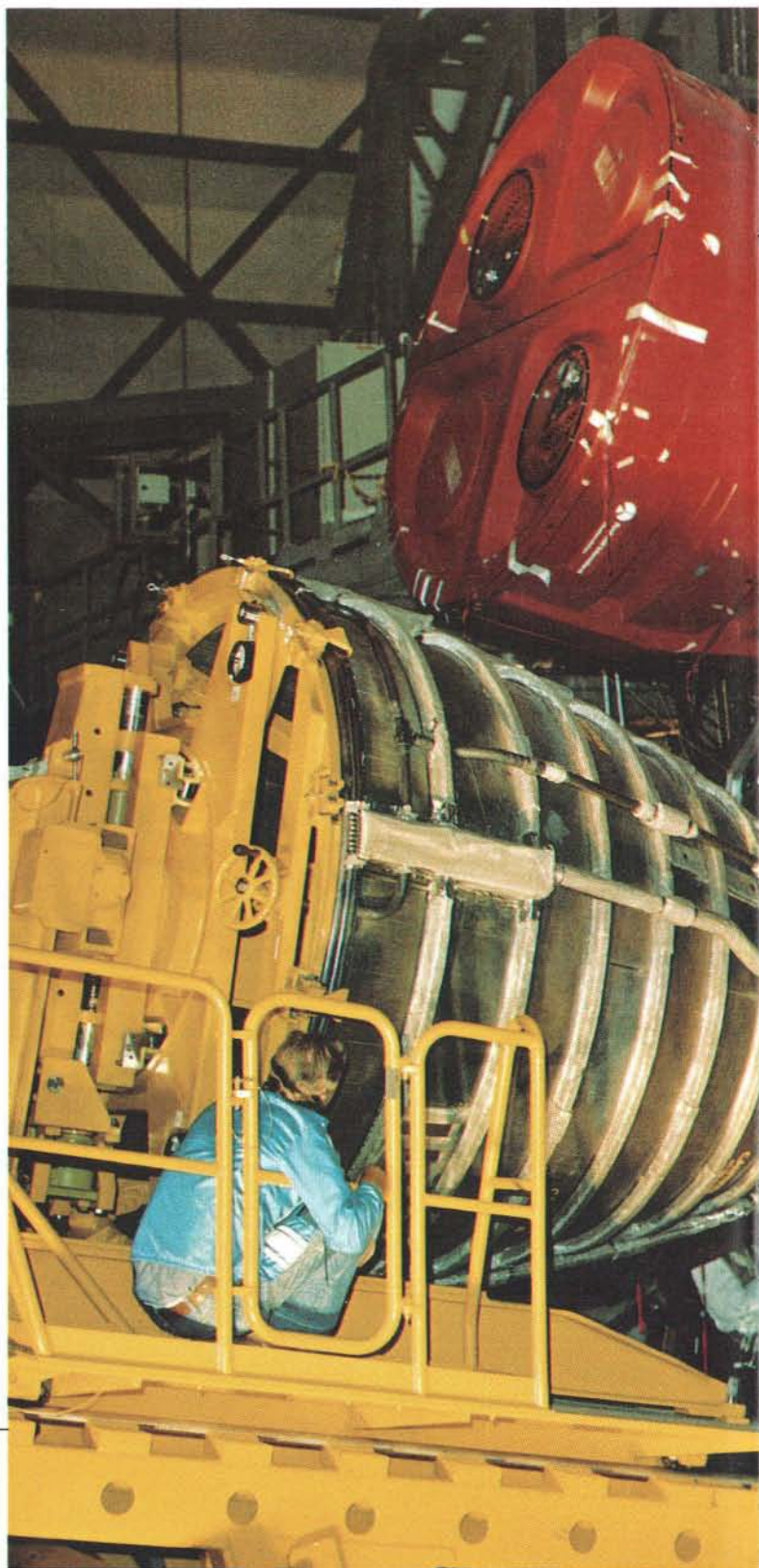
**H. F. R. Schöyer**

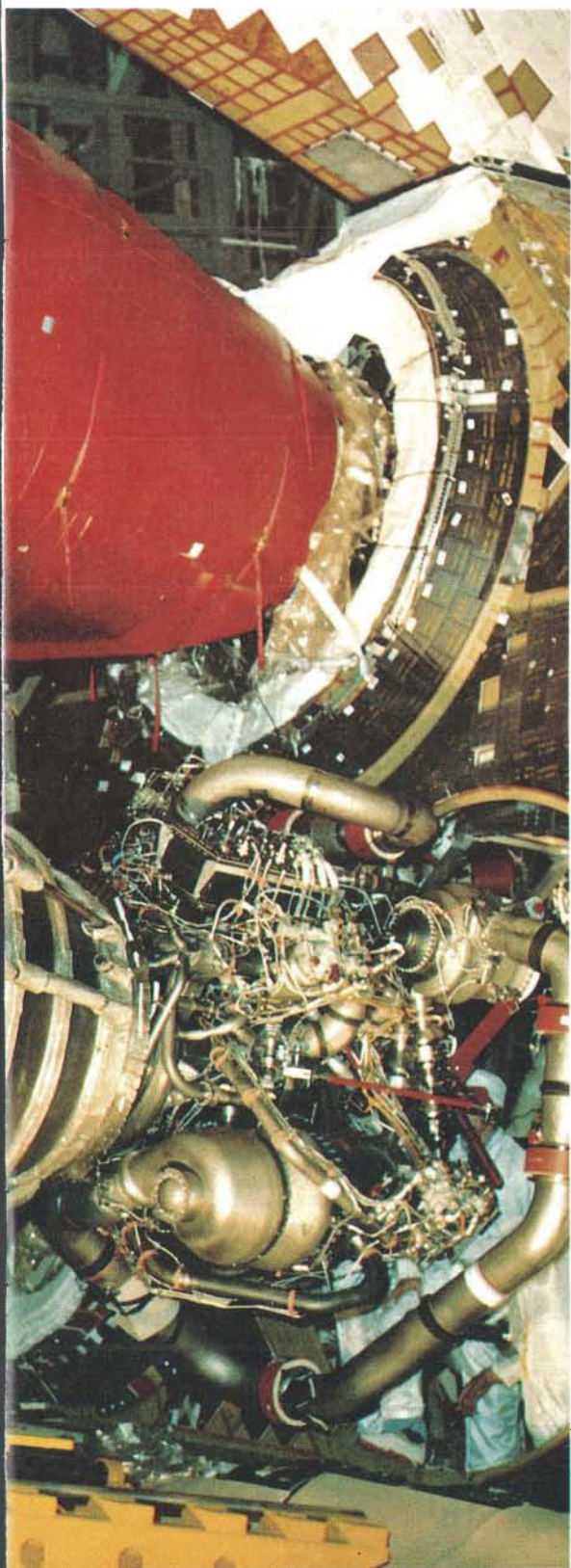
*Afdeling Luchtvaart- en  
Ruimtevaarttechniek  
TH Delft*

**P. A. O. G. Korting**

*Prins Maurits Laboratorium  
TNO Rijswijk*

Een technicus controleert een van de drie hoofd-motoren van de Space Shuttle Colombia. Bij de start zullen deze motoren ongeveer acht minuten simultaan branden en ongeveer twee minuten samen met de vaste-stof boosters. Het door deze gezamenlijke actie opgewekte stuwvermogen zal voldoende zijn om de Shuttle in een omloop-baan te brengen.



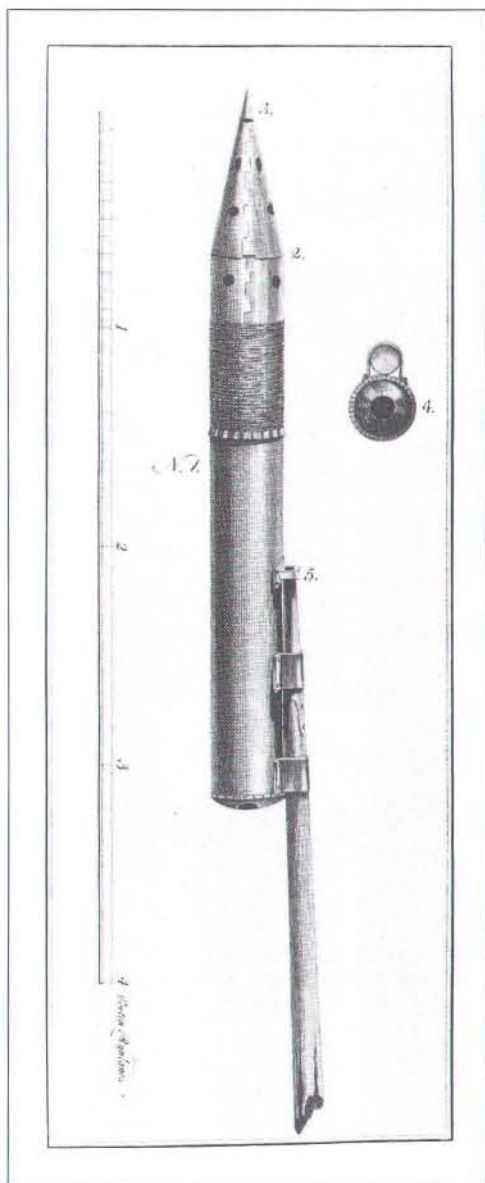


# RAKET MOTOREN

## Van vuurpijl tot energie-opwekking

Raketten zijn inmiddels zo'n 800 jaar bekend. De eerste toepassingen waren militair en ter opulstering van feesten. In de 19e eeuw kwamen er toepassingen voor het redden van schipbreukelingen. Pas tegen het einde van de 19e eeuw begonnen geleerden serieus aan ruimtevaarttoepassingen te denken. In Rusland kwam de gedachte op om vloeibare stuwstoffen toe te passen, in plaats van het tot dan toe gebruikte buskruit.

Ruimtevaart werd pas goed mogelijk na de Tweede Wereldoorlog, dank zij de ontwikkeling van gigantische vloeibare stuwstofraketten. In dit artikel wordt niet alleen een historisch overzicht gegeven; ook wordt ingegaan op de Nederlandse ontwikkelingen. Zeer verrassend is dat daarbij nieuwe, onverwachte toepassingen aan de horizon verschijnen die energie-opwekking met een zeer hoog rendement en 'schone' vuilverbranding mogelijk lijken te maken.



Boven: Een gravure van de gevreesde Engelse brandraket waarmee de Engelsen onder andere Kopenhagen en Vlissingen zwaar beschadigden.

Rechts: Een beeld van de ravage die in 1809 door het raketvuur van de Engelsen in de Walstraat van Vlissingen werd aangericht.

Uiterst rechts: Goddard, de 'vader van de Amerikaanse rakettechniek', naast een van zijn vele raketten. Al in 1932 gebruikte hij geavanceerde technieken zoals gyroscopische besturing van raketten. In 1935 bereikte een door zijn groep gelanceerde raket een hoogte van 2200 m, een record voor die tijd.

## De oudste raketten

Reeds in de middeleeuwen moet de mensheid over raketten hebben beschikt; oude geschriften getuigen daarvan. Het oudste betrouwbare document is het 'Liber Ignium' dat aan Marcus Graecus wordt toegeschreven. Dit 13e eeuwse manuscript is ouder dan de Chinese 'Wu Pei Chi', een tachtig delen tellend werk dat in 1628 werd voltooid. Dit bevat de eerste betrouwbare geschreven informatie over Chinese raketten. Wel zijn er aanwijzingen dat omstreeks de 11e eeuw in China buskruit bekend was; mogelijk zijn daar toen al de eerste raketten vervaardigd. In ieder geval kunnen de Chinezen de primeur claimen voor de eerste bemande raketvlucht.

Een Chinese mandarijn, Wan Hu, liet een vlieger bouwen, voorzien van een groot aantal vuurpijlen. Nadat de dienaren er zorg voor hadden gedragen dat alle vuurpijlen gelijktijdig waren ontstoken, produceerde het vehikel onder donderend geraas grote massa's rook die onze Wan Hu aan het oog ontrokken, waarna hij voor altijd verdween.



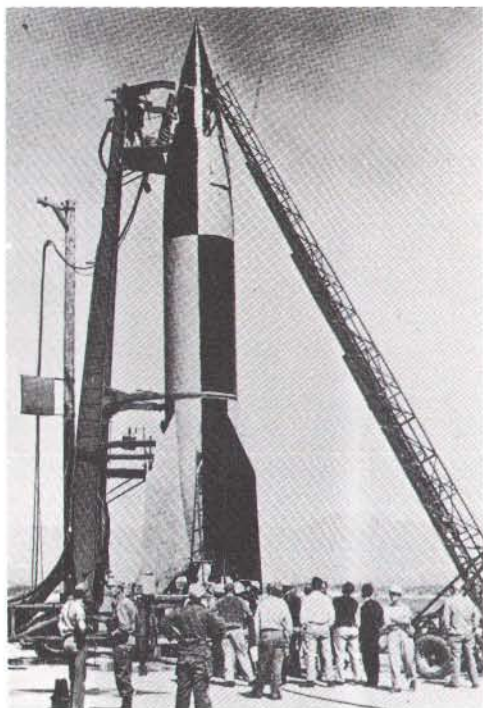
In de middeleeuwen zijn raketten op grote schaal ingezet bij de belegering en verdediging van steden in Europa, onder andere in 1429 door Jeanne d'Arc bij het ontzet van Orléans. Ook het idee van de meertrapsraket is niet zo nieuw: in 1529 maakte Conrad Haas hiervoor al een ontwerp. Toch zijn militaire toepassingen van raketten in Europa beperkt gebleven. Voor festiviteiten waren ze echter wel bekend, getuige ondermeer Händels 'Music for the Royal Fireworks' gecomponeerd om bij een vuurwerk ter gelegenheid van de Vrede van Aken (1749) te worden gespeeld. Zoals wel meer gebeurt, ontbrandde het vuurwerk vroegtijdig. De onbetrouwbaarheid van dit soort buskruitraketten zal wel hebben bijgedragen tot het geringe enthousiasme voor militaire toepassingen.

De ontwikkeling van de moderne raket vindt zijn oorsprong in India, een land dat ook tegenwoordig veel aan raketontwikkeling doet. Terwijl Fransen en Engelsen sinds 1750 incidenteel last hadden van Indiase opstandelingen die van raketten gebruik maakten, brak de hel pas goed los in 1781 toen de Prins van Mysore

een opstand tegen de Engelsen ontketende. Succesvol werden hier op zeer grote schaal raketten ingezet. De opstanden werden tenslotte in 1799 definitief bedwongen, maar de Engelsen hadden ondervonden wat voor een effectief wapen een raket kon zijn. De stalen Indiase raketten waren beter dan wat er verder op dit gebied bestond.

William Congreve, de zoon van een generaal die het Koninklijke Laboratorium van het tuighuis in Woolwich beheerde, dus thuis was in een militaire omgeving, kon daar op hulp en medewerking rekenen, toen hij tijdens de Napoleontische oorlogen zijn raketten uit de Indiase voorbeelden ontwikkelde. Deze raketten vertoonden nog veel gelijkenis met vuurpijlen (zie fig. 1). Toch waren ze geduchte wapens: Congreve's zwaarste raketten konden zo'n 150 kg wegen en een dracht van 2 à 2,5 km hebben! Hoe effectief ze konden zijn ondervond Kopenhagen dat gedurende meer dan 48 uur door zo'n 20 000 tot 40 000 raketten werd gebombardeerd. Van Kopenhagen bleef niet veel over; in 1809 onderging Vlissingen een soortgelijk lot.





Boven: Toen de Tweede Wereldoorlog op zijn einde liep deserterden vele Duitse technici die op de experimentele lanceerinrichting Peenemünde aan de ontwikkeling van de V-2 werkten naar de Amerikanen. Na de oorlog werd een complete V-2 meegenomen naar



een proefterrein in New Mexico voor een verdere ontwikkeling van de rakettechniek.

Boven: Werner von Braun, de stuwende kracht achter het Amerikaanse ruimtevaartprogramma.

## De pioniers

Congreve gebruikte, evenals zijn navolgers, buskruit om zijn raketten voort te jagen. Zo'n raket is niet regelbaar; eenmaal ontstoken brandt al het kruit op. In 1903 publiceerde de dove autodidact en schoolmeester Konstantin Eduardovič Ciolkovskij zijn werk 'Onderzoekingen van de Ruimte met door Reactiekracht aangedreven Toestellen'. In dit werk wordt de theorie van de raket voor het eerst goed beschreven, terwijl ook de vloeibare stuwstoffen worden aanbevolen. Toch bleven zijn ideeën voorlopig nog onbekend en in 1922 deed de Roemeen Hermann Oberth het, onafhankelijk van Ciolkovskij, nog eens over. Aan de 'jeugdjaren' van de rakettechniek kwam in deze periode definitief een einde.

In de Verenigde Staten geeft een hoogleraar

in de natuurkunde, Robert Hutchings Goddard de moed niet op, als de New York Times hem in januari 1920 beschuldigt niets van natuurkunde te begrijpen "Als hij denkt dat een raket in het vacuüm van de wereldruimte zou kunnen werken". Op 16 maart 1926 valt de grote dag: Goddard lanceert met succes de eerste vloeibare-stuwstofraket ter wereld. Goddard bleef met beperkte middelen aan de ontwikkeling van de vloeibare-stuwstofraket werken en boekte daarbij opmerkelijke successen. Deze successen werden enige jaren later overtroffen door het werk van Von Braun en zijn groep. Begonnen als raketenthousiastelingen, trokken jonge Duitsers, waaronder Von Braun, spoedig de aandacht van het Duitse leger. In 1935 begon hij met het ontwerp van de A3, gevolgd door de A4, beter bekend als de V-2, die op 2 oktober 1942 zijn eerste succes-



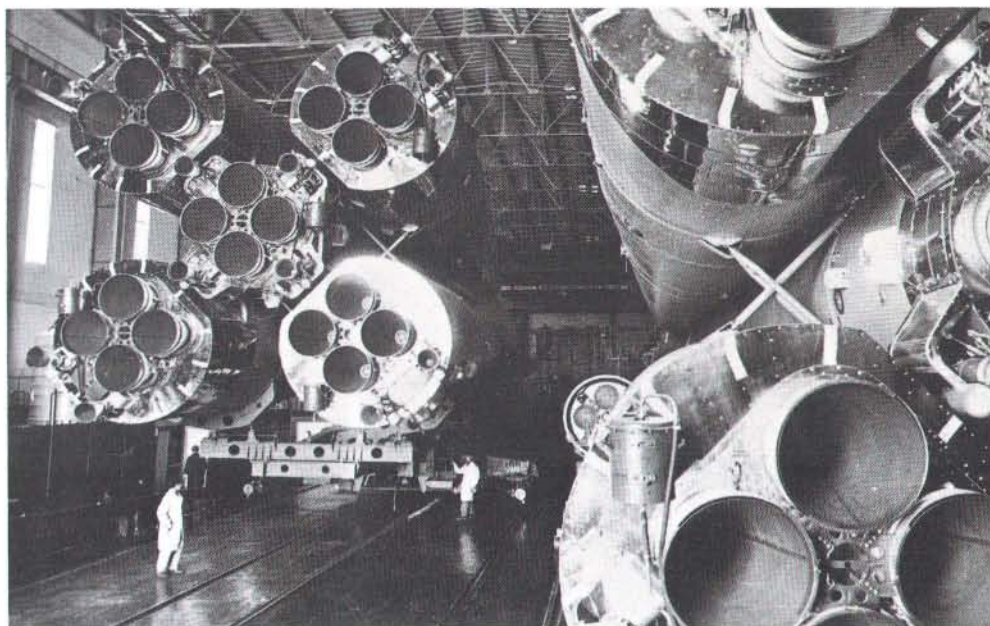
Boven: Een indrukwekkend beeld van de vijf hoofdmotoren van de eerste trap van een Saturnus V raket. Deze raket werd speciaal ontwikkeld voor het Apollo-project waardoor de eerste mensen op de maan gezet werden. Het is de vraag of pioniers als Ciolkovskij en

Goddard ooit hadden durven dromen dat reeds een halve eeuw na hun voorbereidend werk de techniek zo geperfectioneerd zou zijn dat men er mensenlevens aan waagde toe te vertrouwen in een reis naar de maan.

volle vlucht maakte. Als wapen heeft de V-2 nauwelijks invloed gehad op het verloop van de Tweede Wereldoorlog; zijn invloed op de ontwikkeling van de ruimtevaart moet echter niet onderschat worden. Er was een betrouwbaar besturingssysteem ontwikkeld, de motorwanden werden gekoeld door de brandstof; de raket was volwassen geworden. Om de prestaties van de V-2 zo goed mogelijk te voorspellen en in verband met de sterkteberekeningen, moest de verbranding van alcohol (de brandstof) met zuurstof (de oxydator) worden doorerekend. Het was voor het eerst dat zo'n soort berekening werd gemaakt. Uiteindelijk leidde dit bij NASA en anderen tot de complexe rekenprogramma's om het chemisch evenwicht te berekenen. Vóór het 'Tijdperk van de Ruimtevaart' had de chemische industrie via 'natte vingerwerk' chemische processen afgeschat.

## De moderne tijd

De koude oorlog, die op de Tweede Wereldoorlog volgde, stimuleerde vooral in Rusland de ontwikkeling en de bouw van grote raketten. De Russische atoom- en later waterstofbommen schenen zwaarder te zijn dan de Amerikaanse. Tevens door de ligging van Rusland en zijn bondgenoten hadden de Russische kernraketten een grotere dracht nodig dan de Amerikaanse. Als eerste land ter wereld kon Rusland daarom, beschikkende over zware raketten, een kunstmaan in een baan om de aarde brengen (Sputnik 1, 4 oktober 1957), een sonde op de Maan laten inslaan (Luna 2, 12 september 1959), en de eerste bemande ruimtevlucht maken (Vostok 1, 12 april 1961, met Juri Gagarin). Hoewel de Verenigde Staten geschrokken met man en macht aan de slag gin-



gen om hun achterstand op het gebied van grote lanceerraketten weg te werken, lukte dit pas op 20 juli 1969 (Amerikaanse tijd) toen Neil Armstrong en Edwin Aldrin op de Maan landden. Hiervoor werd gebruik gemaakt van de reusachtige Saturnus V raket, die onder leiding van Werner von Braun speciaal voor dit doel was ontwikkeld. Na de Saturnus V ving de NASA aan met de ontwikkeling van de Space Shuttle. Dit ruimteveer is niet meer één raket, maar een compleet ruimtetransportsysteem, dat in totaal 45 raketmotoren voor voortstuwing en standsregeling bevat. De grote vloeibare-stuwstofmotoren behoren tot de allernieuwste motoren. De verbranding van de stuwstoffen geschiedt bij deze motoren in twee fasen.

Na een enthousiast begin in de jaren vijftig, is de ontwikkeling van grote lanceerraketten in West-Europa slechts hortend en stotend verlopen. Na de mislukte Blue Streak, Europa I en II projecten, werd op Franse aandrang door de ESA de ontwikkeling van de Ariane ter hand genomen. Hier werd zekerheid boven technische ontwikkeling verkozen. De Viking-motoren die de Ariane voortstuwten zijn in alle opzichten archaisch. Slechts de derde (Duitse) trap is een efficiënte moderne raketmotor.



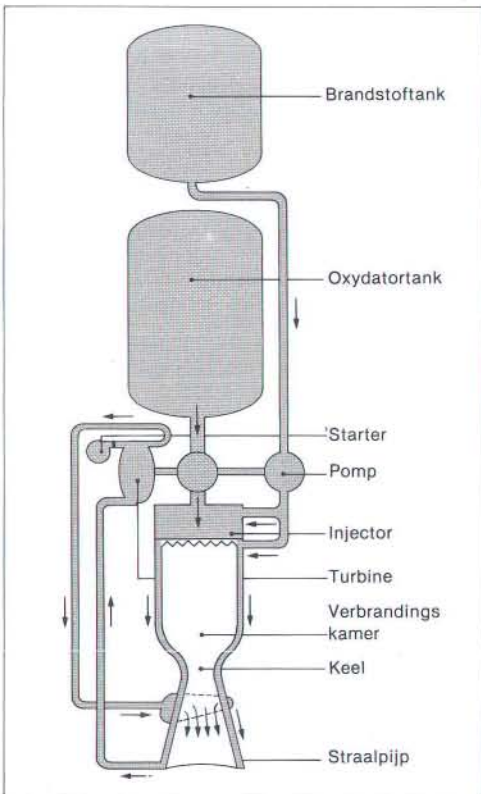
Toch hoopt ESA met de Ariane tegen de Space Shuttle en andere Amerikaanse raketten te kunnen concurreren. Wel produceren Engeland, Frankrijk, Italië, Zweden en Zwitserland op zeer grote schaal militaire raketten, variërend van kleine anti-tankwapens tot grotere raketten voor de luchtverdediging.

## De werking van de raketmotor

Links: Deze twee Vostok-raketten demonstreren hoe belangrijk de Sovjets de stuwkracht van hun raketten vinden. In tegenstelling tot de Saturnus V raket, die vijf hoofdmotoren bezit (zie de foto op de vorige pagina), heeft de Vostok-raket twintig in groepjes van vier gerangschikte hoofdmotoren.

Linksonder: In Moskou getuigt dit monument van de waardering voor Konstantin Eduardovic Ciolkovskij, de grondlegger van de bemande ruimtevaart. Omstreeks 1900 verrichtte hij al onderzoek, weliswaar theoretisch, naar de mogelijkheid mensen in de ruimte te brengen en te laten leven.

Onder: Fig. 1. Het schema van een vloeibare-stuwstof-raketmotor. Zowel de brandstof als de oxydator zijn onder lichte overdruk in tanks opgeslagen. Een turbine die via een aparte gasgenerator gestart wordt drijft pompen aan waarmee zowel de brandstof als de oxydator onder hoge druk in de verbrandingskamer worden geperst. De hete delen van de raketmotor, verbrandingskamer en straalpijp, worden meestal gekoeld door de brandstof. Na opwarming langs deze delen is de brandstof zo'n heet gas geworden dat het gebruikt kan worden om de turbine van de pompen aan te drijven.



De eenvoudigste raket die iemand kan maken is een luchtballonnetje op te blazen en los te laten: de wanden van de ballon trekken samen, persen de lucht er uit en het ballonnetje fladdert rond. Als we het ballonnetje met een touwtje hadden dichtgebonden was het blijven liggen; de inwendige drukkrachten heffen elkaar op. Maken we het touwtje los, dan wordt de lucht uit de hals geperst, maar ook wordt de drukkracht op het tegenover de hals gelegen deel van de ballonwand niet meer opgeheven. De hierdoor ontstane kracht is in feite de voortbewegende kracht op de ballon. Hoewel Newton dit actie-reactie principe al in 1687 in zijn 'Principia' vastlegde, bleek toch nog in 1920, toen de New York Times zijn merkwaardige beschuldiging tegen Goddard uitsprak, dat de mensheid in zijn algemeenheid niet veel van het principe van de raketvoortstuwing begreep. Men hoorde nog vaak de uitspraak "dat de raket zich tegen de omringende lucht afzette". Bij het opgeblazen luchtballonnetje, duurde het uitstoten van massa (lucht) maar kort. Bij een echte raketmotor wordt er voor gezorgd dat er voortdurend 'vers gas' wordt aangevoerd om te worden uitgestoten. Bij de moderne raketten gebeurt dit door chemische reacties in of tussen de raketstuwstoffen.

Hoewel dit artikel eigenlijk alleen over 'chemische raketmotoren' handelt, geldt het raketprincipe: 'snel uitgestoten massa (actie) wekt een reactiekracht, de stuwkracht, op' heel algemeen. Bij een door kernenergie aangedreven raket wordt de kernenergie gebruikt om het voortstuwend gas te verhitten waardoor een hoge druk in de motor ontstaat en het gas met zeer hoge snelheid wordt uitgestoten. Dit type raketten staat echter nog zo in de kinderschoenen dat ze voorlopig alleen nog maar in science fiction-verhalen voorkomen.

Bij de elektrische raketmotor, versnelt een elektrisch veld geladen deeltjes (ionen en elektronen). Bij de chemische raketmotor worden de hoge temperatuur en druk aan een chemische reactie ontleend; in gewoon Nederlands wordt dit 'verbranding' genoemd. Essentieel voor het raketprincipe is echter wel, dat alle massa die met hoge energie wordt uitgestoten, van meet af aan door de raket is meegenomen.

Rechts: De lancering van een machtige Saturnus V raket.

Onder: Raketten vinden ook nu nog voor het grootste gedeelte een toepassing in de militaire sfeer. Op deze foto's zijn een aantal types tentoongesteld die gebruikt worden door de luchtmacht, landmacht en marine. De moderne raketten vinden met tv- of radar-begeleiding of warmtetectoren vrijwel feilloos hun doel.

Rechtsonder: Fig. 2. Een schema van de motor van de tweede trap van een in Nederland ontwikkelde raket, de ORES (Optimale Raket voor Experimenten met Sondes).



### Chemische raketmotoren

Bij deze motoren verbranden brandstof en oxydator onder hoge temperatuur en druk. Zijn brandstof en oxydator beide vloeibaar, dan is er sprake van een *vloeibare-stuwstofmotor*; zijn beide vast dan spreekt men van een *vaste-stuwstofmotor*, en als ze in verschillende aggregatietoestanden verkeren spreekt men over *hybride raketmotoren*. Bij de vloeibare stuwstofmotoren (zie fig. 1) zijn de stuwstoffen in dunwandige tanks, onder lichte overdruk, opgeslagen. Turbopompen persen de stuwstoffen onder hoge druk de verbrandings-

kamer in, waarbij de brandstof vaak ondertussen nog hete delen koelt. De verbrandingsdruk kan tot 40 MPa (400 atm) oplopen, de temperatuur tot zo'n 4000 K. In de straalpijp worden de verbrandingsgassen versneld tot zeer hoge snelheden: 15 000 km/uur is zo'n beetje de hoogste waarde voor moderne raketmotoren. Een hoge uitstroomsnelheid is belangrijk, omdat de maximale snelheid die een raket uiteindelijk kan bereiken evenredig is met de uitstroomsnelheid. Bij vaste-stuwstofmotoren is de uitstroomsnelheid wat lager, maar de motor is vaak wat eenvoudiger, goedkoper en kan zeer lange tijd lanceergerede klaar staan. Om

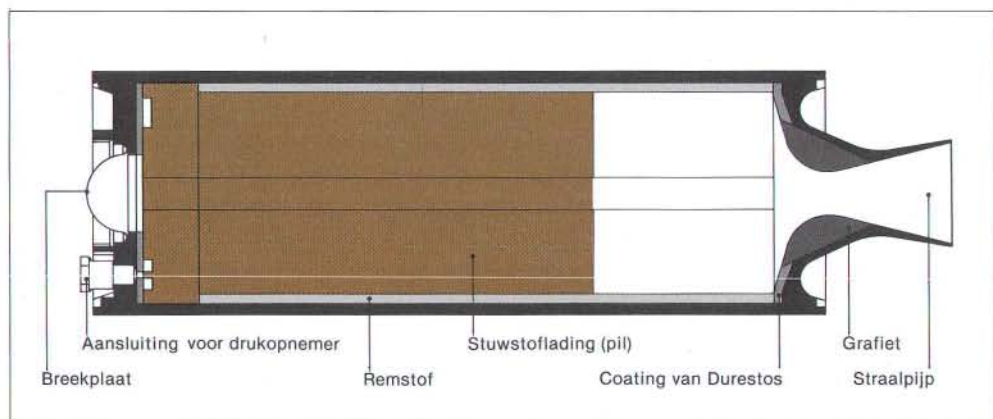




deze redenen valt er de laatste jaren weer een duidelijke voorkeur voor het gebruik van vaste stuwstofmotoren waar te nemen. Alleen voor zeer speciale toepassingen zal men nog zijn toevlucht zoeken bij vloeibare-stuwstofmotoren. Hybride motoren verschenen aan de horizon toen de beide andere typen al ver ontwikkeld waren. Behalve dat ze de voordelen van de vaste- en vloeibare-stuwstofraketmotoren in zich verenigden, verenigden ze ook de nadelen. Daarom was niemand bereid veel geld in de ontwikkeling te steken. Slechts voor demonstratiedoeleinden vonden hybride motoren, dank zij hun grote veiligheid, toepassingen.

### Ontwikkelingen in Nederland

Het gebruik van Congreve's raketten in de Napoleontische en Amerikaanse oorlog, had vele landen van het nut van dit wapen overtuigd. Ook het Nederlandse leger schafte een aantal Engelse raketten aan. De zware stabilisatiestok, die Congreve van de Indiërs had overgenomen, werd in Nederland door een zekere kapitein De Boer door drie veel lichtere, metalen vinnen vervangen. Eveneens ging men zelf over tot produktie van raketten. Toch moeten deze pogingen minder succesvol zijn geweest, want later kocht Nederland weer ra-



## Vaste raketstuwstoffen

Tot het begin van deze eeuw was samengeperst buskruit (een mengsel van salpeter, zwavel en houtskool) de enige vaste stuwstof voor raketten (fig. 1-1). Aan het begin van deze eeuw kwam homogene stuwstof in gebruik. Dit is een gel van het explosieve cellulosenitraat (schietkatoen, oude naam nitrocellulose) en het explosieve glyceroltrinitraat (oude naam nitroglycerine). De plasticachtige gel is relatief stabiel. Door speciale toevoegingen kan men de kans op zelfontbranding verkleinen, de mechanische eigenschappen verbeteren en ook de snelheid waarmee de gel brandt, beïnvloeden. Homogene stuwstoffen hebben in het algemeen rookzwakke, kleurloze verbrandingsgassen waardoor ze vooral voor militaire toepassingen van belang zijn. Daar de prestaties van homogene stuwstoffen niet al te best waren, werd door Von Kármán aan het begin van de Tweede Wereldoorlog een aanvang gemaakt met de vervaardiging van composiet kruit. Dit is een mengsel van heel fijne oxydator-kristallen (meestal ammoniumperchloraat) in een brandstofmatrix, tegenwoordig veelal een kunststof of rubber, maar vroeger is ook asfalt gebruikt. Ook hier kan door toevoegen van aluminiumpoeder of andere stoffen de verbranding van de stuwstof beïnvloed worden.

Composiet stuwstof geeft in het algemeen een dichte, witte rook af door de aanwezigheid van zoutzuur in de verbrandingsgassen. Dit was goed te zien bij de lancering van de Space Shuttle. De nieuwste ontwikkelingen combineren de homogene stuwstoffen met de rubbers en eventueel met zeer fijne (an)organische explosieve kristallen zoals ammoniumperchloraat, octogeen en dergelijke.

Prestaties van stuwstoffen worden uitgedrukt in de *specifieke impuls*,  $I_s$ . Dit is de impuls (hoeveelheid van beweging) die per gewichtseenheid stuwstof kan worden verkregen:

$$I_s = \frac{t_b}{g_0} \left[ \int_0^{t_b} F \cdot dt \right] / [M_s \cdot g_0]$$

Hierin is  $F$  de stuwkracht,  $t_b$  de brandtijd,  $M_s$  stelt de hoeveelheid stuwstof voor en  $g_0$  is de versnelling van de zwaartekracht op zeeniveau. Men mag ook zeggen dat de specifieke impuls de tijd voorstelt dat een brok stuwstof een stuwkracht kan leveren gelijk aan zijn oorspronkelijke gewicht. Voor homogene stuwstoffen is  $I_s \approx 220$  s, voor composiet stuwstoffen is  $I_s \approx 240$  s en voor de nieuwe composiet gemodificeerde stuwstoffen kan zelfs  $I_s \approx 260$  s worden bereikt.

Als stuwstof wordt ontstoken brandt dit met een snelheid die afhangt van de samenstelling, de temperatuur die de stuwstof vóór de ontsteking heeft en de druk. Hoewel het vreemd lijkt dat de temperatuur vóór de ontsteking invloed heeft op de verbranding, moet bedacht worden dat stuw-

Rechts: Fig. 1-1. Een schematische doorsnede van een vaste-stuwstofraket.

Rechtsonder: Fig. 1-2. Doorsneden van vier stuwstofblokken met het verloop van de stuwkracht in de tijd volgend op de ontsteking. De vorm van het brandoppervlak bepaalt wanneer de raket de meeste snelheid maakt.

Onder: Een werkelijk gebruikte stuwstoflading in stervorm.



stof een zeer slechte warmtegeleider is, vrij snel brandt en dat de stuwstof meteen verbrandt zodra ze heet wordt. De stuwstof krijgt dus geen gelegenheid om op te warmen.

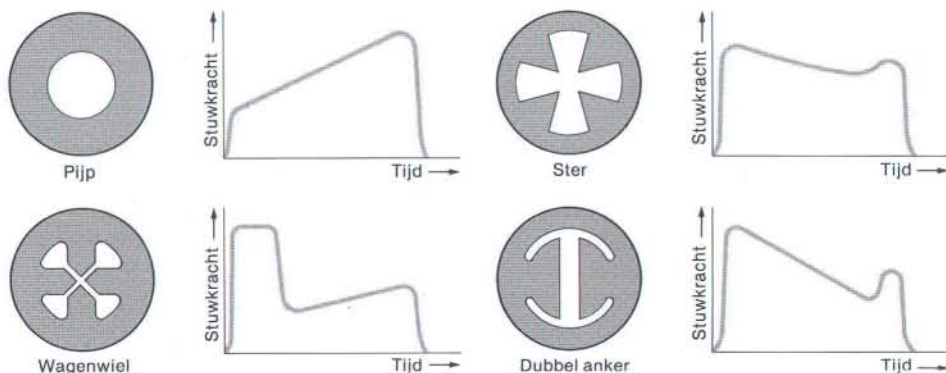
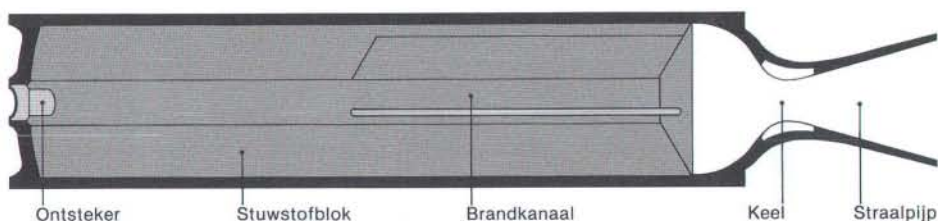
Het blijkt dat de snelheid  $r$ , waarmee stuwstoffen branden als functie van de druk  $p$  goed kan worden beschreven door de formule:

$$r = a \cdot p^n$$

De coëfficiënt  $a$  hangt, behalve van de stuwstofsamenstelling van de temperatuur af, terwijl de exponent  $n$  kleiner dan ongeveer 0,8 is. Practische waarden van de brandsnelheid liggen tussen 1 mm/s en 2,5 m/s.

Goede stuwstof brandt altijd loodrecht op het ontstoken afbrandend oppervlak. Daarop be-

rusten methoden om de stuwkracht van vaste stuwstofraketten van te voren te 'programmeren'. Het is bijvoorbeeld gemakkelijk in te zien dat het brandende oppervlak van een van binnen naar buiten brandende holle cilinder steeds groter wordt. Daardoor wordt steeds meer stuwstof omgezet in verbrandingsgassen en zal de stuwkracht dus met de tijd toenemen tot de stuwstoflading, of de 'pil' in vakjargon, is opgebrand. Fig. 1-2 geeft enkele voorbeelden van 'ingewikkelder' pillen. Door op bepaalde plaatsen ontbrandingsweerder aan te brengen, kan verhinderd worden dat het oppervlak ter plaatse gaat branden. Hiervan kan gebruik worden gemaakt om een gewenst 'brandprogramma' te realiseren.



ketten in Engeland. Daarna blijft het hier een tijd stil rond de raket, tot verschillende plaatsen in Nederland in de Tweede Wereldoorlog als lanceerplaats voor de V-2 gebruikt gingen worden. Dit leidde tot een der eerste wetenschappelijke Nederlandse publikaties op het gebied van de rakettechniek: 'Ballistics of the Future' door Kooy en Uytendogaart. Dit boek is klassiek geworden en staat naast het theoretische werk van pioniers als Ciolkovskij, Oberth en Esnault-Pelterie op eenzame hoogte en verscheen eerst hier in 1946 gevolgd door een Amerikaanse uitgave in 1948.

Daarna bleef het weer enige tijd stil, tot Lindeyer aan het begin van de jaren zestig bij het toenmalige Technologisch Laboratorium TNO in Rijswijk een bescheiden aanvang maakte met technisch wetenschappelijk raketonderzoek. De tijd scheen rijp: in Leiden ontstond de Nederlandse Vereniging voor Raketonderzoek NERO, die al spoedig ook in Delft een actieve afdeling had. Lindeyer en Wittenberg leidden avondcursussen voor raketenthousiastelingen! Industrieel werd een aanvang gemaakt met de experimentele productie van vaste stuwstofraketten door de Koninklijke Nederlandse Springstoffen Fabriek (het huidige Muiden Chemie) met de Artillerie Inrichtingen 'Hembrug' (het huidige Eurometaal). Zij produceerden de ZOMOR (Zaandam Ouderkerk Muiden Ondersteunings Raket). Deze raket vond een van de 'merkwaardigste toepassingen ons bekend': als beveiliging bij vliegproeven! Om de nieuwe Fokker F-28 Fellowship uit de eventuele 'deep stall' te kunnen halen tijdens vliegproeven werden in de staart van de F-28 vier ZOMORS geplaatst die in geval van nood het toestel de gewenste neuslastige rotatie zouden kunnen geven.

Het werk van Delftse studenten werd door Wittenberg en Kooy aan de toenmalige afdeling Vliegtuigbouwkunde van de TH in goede banen geleid waarbij steeds een intensieve samenwerking met het Technologisch Laboratorium TNO bestond. Dit werk resulteerde in een tweetrapsraket, ORES (Optimale Raket voor Experimenten met Sondes, zie fig. 2). De motor voor de tweede trap werd ook gebouwd en bij TNO beproefd. Doordat de Springstoffenfabrieken de productie van raketkruit echter beëindigden kwam de ORES voortijdig aan zijn eind. TNO zette het werk echter voort, met name om deskundigheid op





Boven: Dat een lancering niet altijd vlekkeloos verloopt blijkt uit de talrijke mislukte lanceringen. Hier worden de resten van de raketmotor van een in zee gestorte Ariane-raket geborgen.

Links: Een lancering van de Europese Ariane-raket.

te bouwen voor problemen die zich ongetwijfeld bij de Nederlandse krijgsmacht zouden voordoen, nu men na circa 120 jaar weer raketten in de bewapening had. Het onderzoek richtte zich aanvankelijk op statische beproeving en regelmatige inspectie van vaste stuwstofraketmotoren en dit vindt nog steeds plaats bij dit laboratorium dat inmiddels zijn naam heeft gewijzigd in Prins Maurits Laboratorium. De regelmatige inspectie heeft o.a. ten doel het verouderingsproces van motoren die opgeslagen zijn te volgen zodat een betrouwbare werking van deze motoren verwacht mag worden. Hiernaast heeft er langzamerhand een uitbreiding van het onderzoek in wetenschappelijke richting plaats gevonden. Veel van dit onderzoek vindt in nauwe samenwerking met de afdeling Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek van de Delftse TH plaats. Momenteel zijn dit de enige Nederlandse instellingen waar onderzoek op het gebied van de rakettechniek plaatsvindt.

## Onderzoek TH-TNO

In de loop der tijden heeft het Prins Maurits Laboratorium unieke en uitgebreide experimentele faciliteiten voor raketonderzoek opgebouwd, waaronder een overdekte raketproefstand (onder andere om geluidsoverlast tegen te gaan). Aangezien ons kleine land zich niet met alle gebieden van de rakettechniek kan bezighouden, hebben de beide organisaties zich beperkt tot enkele facetten, op één waarvan inmiddels internationaal erkende expertise is opgebouwd. De onderzoeksgebieden betreffen instabiele en oscillerende verbranding, hybride raketvoortstuwing en sinds kort is met steun van de Stichting voor de Technische Wetenschappen een grootscheeps onderzoek naar de verbranding in de vaste-brandstofverbrandingskamer begonnen. Hiernaast heeft TNO ook de nodige ervaring verworven met het mechanisch gedrag en de veroudering van raketstuwstoffen.

## Instabiele en oscillerende verbranding in vaste-stuwstofraketmotoren

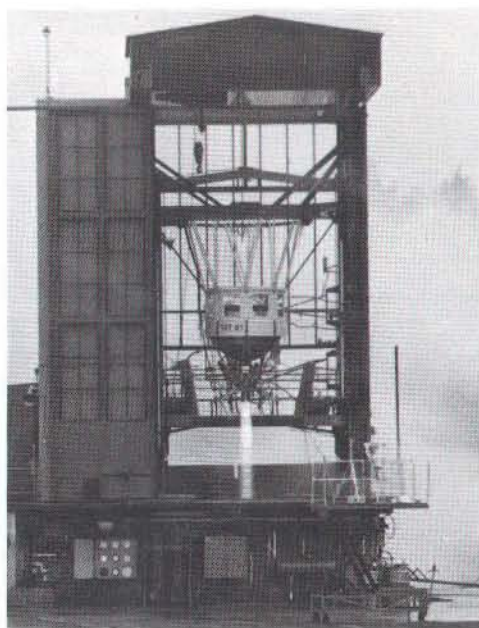
Tot welke desastreuze gevolgen instabiele verbranding in raketmotoren kan leiden, is onlangs nog gebleken toen de Ariane-raket bij de tweede lancering explodeerde. Overigens houden de TH en TNO zich niet bezig met vloeibare-stuwstofmotoren. Maar wat is instabiele of oscillerende verbranding nu wel?

Iedereen weet dat een holte in bepaalde tonen kan meeklinken, denk maar aan een orgelpijp of een fluit. Zo'n orgelpijp wordt daartoe aangeblazen met lucht. De verbrandingskamer van een raketmotor heeft net als een orgelpijp bepaalde tonen (frequenties) waarin hij gemakkelijk meeklinkt (resoneert): de akoestische eigenfrequenties. Hoewel de details van de verbranding van vaste stuwstoffen niet duidelijk zijn, weet men wel, dat deze bij drukveranderingen hier enigszins vertraagd op reageert. Het gevolg kan zijn dat als er een drukfluctuatie met zo'n frequentie in de motor optreedt en de verbranding van de stuwstof hier min of meer in fase op reageert, de drukveranderingen steeds heviger worden. Dit hoeft niet altijd tot het ontploffen van de raket te leiden; soms worden de trillingen zó hevig dat het besturings- of geleidingssysteem het begeeft, of de kunstmaan die moet worden gelanceerd kapot gaat. Ook kan de verbranding, ten gevolge van de grote drukdalingen tijdens de oscillaties, stoppen zodat de raket neerstort. Niet altijd is er sprake van een interactie tussen de akoestische eigenschappen van de motor en de verbranding van de stuwstof. Bij de vaste-stuwstofmotoren van de Space Shuttle bijvoorbeeld doet zich een lichte mate van verbrandingsinstabiliteit voor die veroorzaakt wordt door een interactie van de verbranding van de stuwstof en periodiek loslatende werfels in de motor. Bij een andere vorm van instabiele verbranding is er geen enkel verband met de akoestische eigenschappen van de motor aan te geven. De oorzaak is vele jaren duister geweest; experimentele feiten klopten niet met de theorie.

Juist aan deze vorm van verbrandingsinstabiliteit is door TH/TNO veel onderzoek verricht en een betere verklaring voor het verschijnsel lijkt te zijn gevonden: doordat de verblijftijd van de verbrandingsgassen in de motor erg kort is, is de verbranding onvolledig,

daardoor dalen druk en temperatuur waarmee de verblijftijd toeneemt, de verbranding volledig wordt en druk en temperatuur weer stijgen, dan echter is de verblijftijd weer te kort voor een goede verbranding. Dit verschijnsel dat bekend staat als L\*-instabiliteit (spreek uit L-ster), doet zich ook bij vloeibare-stuwstof-raketmotoren voor, maar wordt dan 'chugging' genoemd; dit treedt op bij raketmotoren met extra luchttoevoer en ramjets.

Om het dynamische verbrandingsgedrag van stuwstoffen te meten kunnen verschillende apparaten worden gebruikt. Een hiervan is de



Boven: Het proefdraaien van een prototype van de derde trap van de Europa 1 raket op het testterrein Trauen in West-Duitsland.

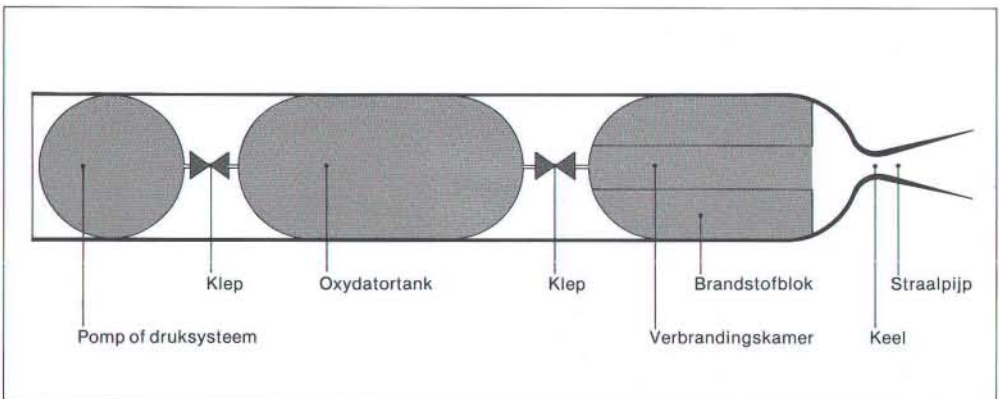
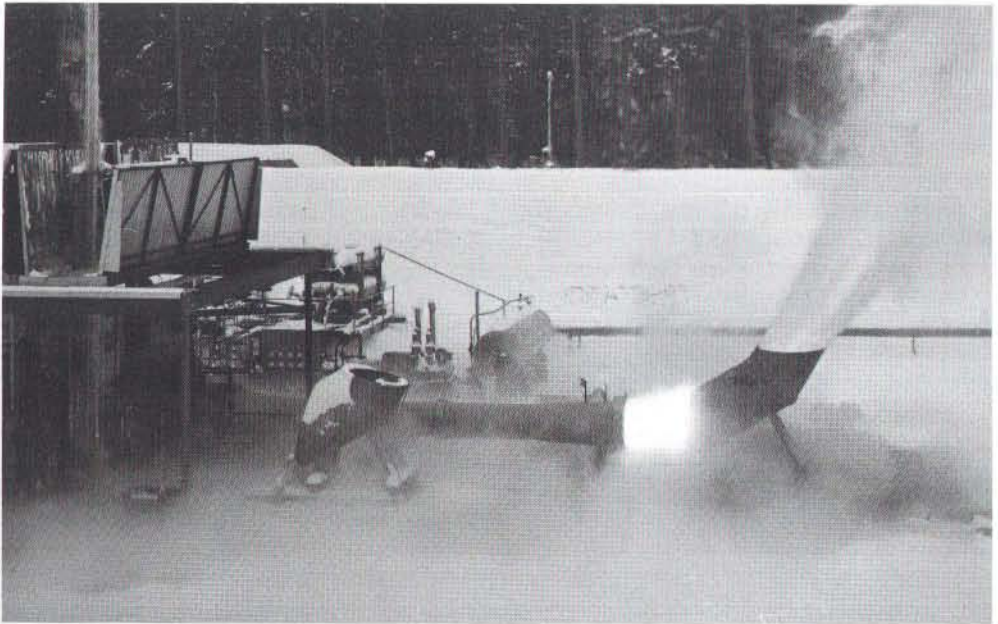
Rechtsboven: Een soortgelijke proefopstelling voor de HM7-raketmotor van de Ariane-raket.

Rechts: Fig. 3. Een schematische weergave van een hybride raket.

L\*-brander waarmee de TH/TNO nu meer dan tien jaar intensief ervaring hebben. Maar ook zijn er volop nieuwe laboratoriummeetmethoden in ontwikkeling. Deze berusten op het principe van Helmholtz: twee trilholtten verbonden door een nauw kanaal kunnen in een (lage) frequentie resoneren. Door in een van de trilholtten nu stuwstof te verbranden, kan in principe het dynamische verbrandingsgedrag van de stuwstof voor iedere ingestelde frequentie nauwkeurig worden gemeten. Ook in het buitenland bestaat voor deze Helmholtz-resonatorbrander belangstelling.

### Hybride raketvoortstuwing

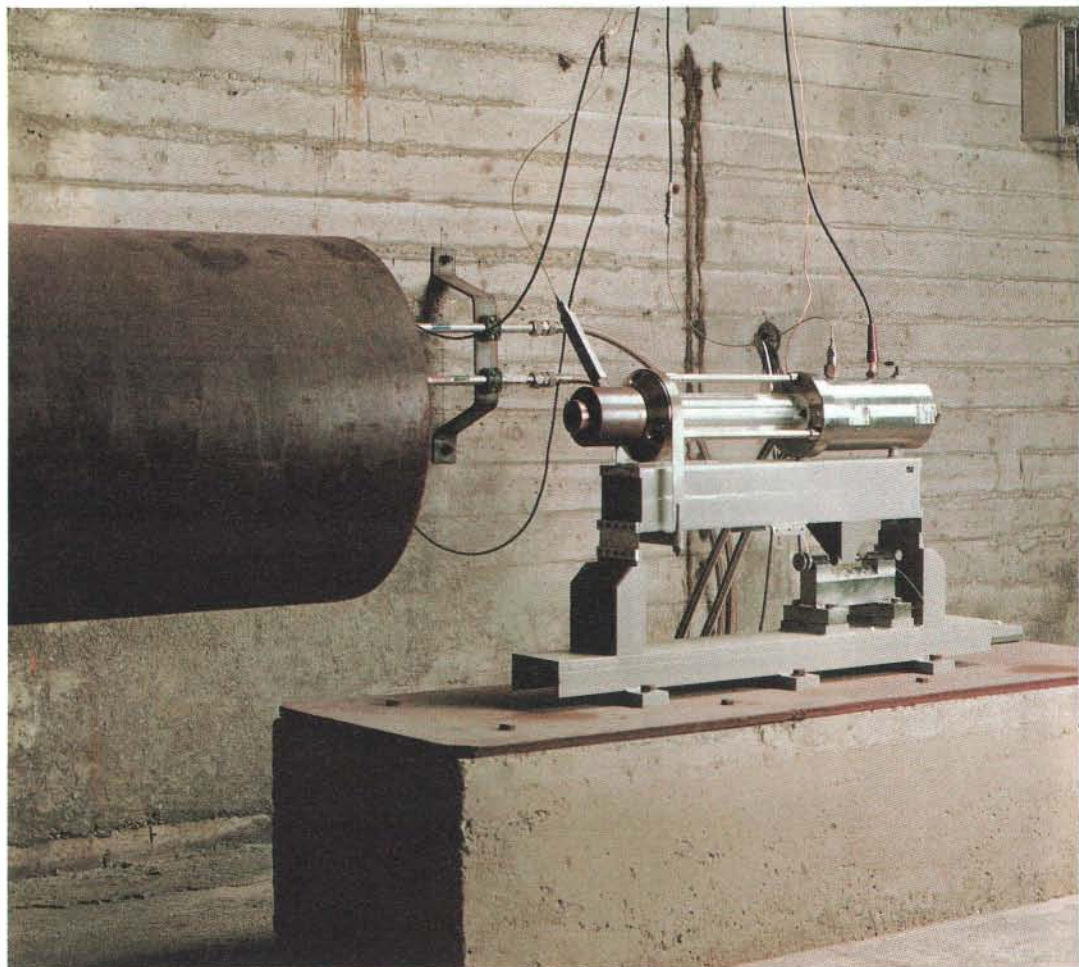
Zowel vaste- als vloeibare-stuwstofmotoren zijn het ontwikkelingsstadium ruim gepasseerd en vinden brede toepassing. Beide typen motoren hebben hun eigen voor- en nadelen. De vaste-stuwstofmotor is goedkoop, betrouwbaar en kan zeer lange tijd gebruiksklaar worden opgeslagen. De vloeibare-stuwstofmotor is duur en ingewikkeld maar zijn prestaties zijn beter dan van de vaste-stuwstofmotor terwijl de stuwkracht van de laatste moeilijk regelbaar is. De hybride raketmotor (fig. 3), waarbij de

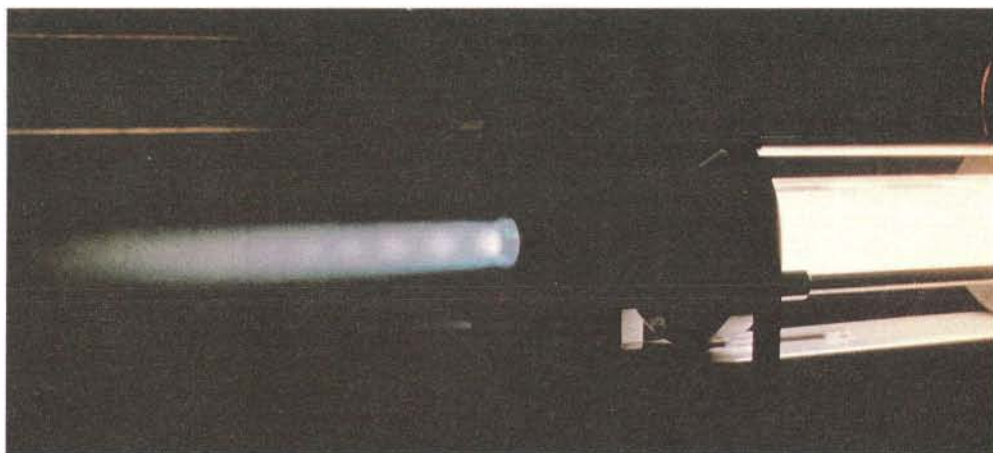


oxydator meestal vloeibaar of gasvormig is en de brandstof vast, combineert de voordelen van de vaste- en vloeibare-stuwstofraket; de eerlijkheid gebiedt echter te zeggen dat ook nadelen worden gecombineerd. De uitvoering is vrij eenvoudig terwijl in principe vrij hoge prestaties kunnen worden gehaald. Willekeurige stuwkrachtregeling is goed realiseerbaar terwijl de motor uitstekende stop- en herstartmogelijkheden heeft. Daarnaast is dit het veiligste type raketmotor. De meeste vloeibare stuwstoffen (bijv. vloeibare zuurstof, rood-rokend salpeterzuur, hydrazine) zijn bij direct lichamelijk contact uiterst gevaarlijk, terwijl vaste stuwstoffen tenslotte explosieve stoffen zijn. Qua veiligheid kan een hybride raket-

motor wel met industriële lasapparatuur worden vergeleken.

Hiernaast biedt de hybride motor nog een interessant perspectief. De verbranding in dit type motor is wetenschappelijk gezien zeer interessant. Er kan een doorzichtige brandstof (bijv. plexiglas) worden gebruikt zodat het verbrandingsproces ook visueel gevolgd kan worden. Omdat dit soort verbranding behalve interessant ook van technisch-economisch belang kan zijn, is de hybride raketmotor een uiterst nuttig onderzoeksinstrument. Sinds enkele jaren beschikken de TH en TNO samen over een kleine experimentele hybride raketmotor. De brandstof voor deze motor betaamt uit dikwandige plexiglasen (polymethylmethacrylaat) bui-





Boven: De kleine experimentele hybride raketmotor in werking. Links de hete uitlaatgassen, rechts de plexiglasen motorkamerwand, die verlicht wordt door de verbranding van het plexiglas.

Links: Een overzicht van de experimentele raketmotor van TH/TNO in de overdekte raketproefstand, bedoeld om geluidhinder te voorkomen.



zen. Door deze buis wordt zuurstofgas geleid. Door de hitte van de verbranding ontleedt het plexiglas aan zijn oppervlak in zijn monomeer methylmethacrylaat dat met de zuurstof verbrandt. Door het plexiglas, dat van binnen naar buiten brandt, niet helemaal op te laten branden kan een stalen motorkamerwand achterwege blijven en blijft het verbrandingsproces zichtbaar. Zo kan dit bij voorbeeld ook gefilmd worden. Doordat de plexiglasen wand brandstofgassen de hoofdstroming inblaast ontstaat een gecompliceerde stromingssituatie. Over deze aangeblazen, reagerende grenslagen is nog maar weinig bekend. De hybride raketmotor biedt interessante mogelijkheden om na te gaan welke factoren voor de ontleding van brandstoffen van groot belang zijn en hoe de menging van brandstofontledingsprodukten en oxydator in dit soort kanalen plaatsvindt. Het onderzoek van de TH/TNO heeft onder andere bevestigd dat het afbrandgedrag van kunststoffen zoals plexiglas en polyethyleen vooral bepaald wordt door de hoeveelheid zuurstof, de doorsnede van het brandkanaal en - zij het in mindere mate - de druk in de motor. Films, gemaakt van de verbranding van plexiglas in een zuurstofstroom van hoge snelheid tonen duidelijk aan dat de verbranding in een turbulente grenslaag plaatsvindt. Experimenteel is eveneens vastgesteld dat op deze wijze een hoge mate van energie-omzetting kan worden bereikt: in deze overigens niet geoptimaliseerde motor zijn verbrandingsrendementen van 95 procent behaald.

## De vaste-brandstofverbrandingskamer

Brandstoffen als polyethyleen, plexiglas en polystyreen branden uitstekend met zuurstof in de hybride motor. Wanneer de verhouding zuurstof/brandstof gunstig is kunnen zeer hoge verbrandingstemperaturen worden bereikt; 3000 K is hierbij niets bijzonders. Door de opbouw van de hybride motor, waarbij het verhitte gedeelte van de brandstof verbrandt en de rest isoleert, blijft een groot deel van de constructie koel. Veel van onze bezoekers zijn steeds weer verbaasd als zij na afloop van een proef constateren dat een brandstofblok, waarin nog geen minuut eerder een temperatuur van 3000 K en een druk van 2 MPa (20 atm) heersten, van buiten volkomen koud gebleven is. Gebaseerd op de goede ervaringen met de hybride motor is het idee ontstaan dat het nuttig zou zijn na te gaan of het mogelijk is andere brandstoffen op deze wijze te verbranden, maar dan met lucht in plaats van met zuivere zuurstof. Dan is er natuurlijk geen sprake meer van een hybride raketmotor, maar van iets, dat wij een vaste-brandstofverbrandings-

kamer genoemd hebben (zie fig. 4). Als brandstoffen komen steenkool en de brandbare fracties uit huisvuil in aanmerking. Thermochemische berekeningen wijzen bijvoorbeeld uit dat bij gunstige lucht/brandstofverhoudingen de temperatuur al snel boven 2000 K komt; wordt met voorverwarmde lucht gewerkt dan kunnen aanzienlijk hogere verbrandingstemperaturen worden bereikt. Ten opzichte van de huidige verbrandingsinstallaties, waar de verbrandingstemperatuur in verband met de toelaatbare temperatuur van de toegepaste constructiematerialen tot ca. 1500 K beperkt is, zou niet alleen het Carnotrendement drastisch worden verhoogd, maar zouden ook ongewenste complexe verbindingen zoals PCB's en dioxines die uiterst giftig zijn, volledig worden afgebroken. Daardoor wordt een relatief schone vuilverbranding mogelijk. De zeer hete verbrandingsgassen kunnen benut worden voor een efficiënte elektriciteitsopwekking.

Bij andere toepassingen kan de vaste-brandstofverbrandingskamer deel uitmaken van een ramjet en als motor in een lucht- of ruimtevaarttoepassing dienen. Voor het echter alle-

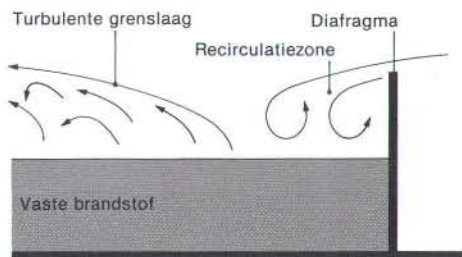
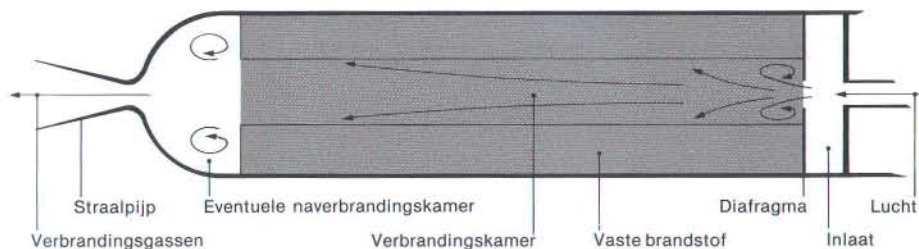
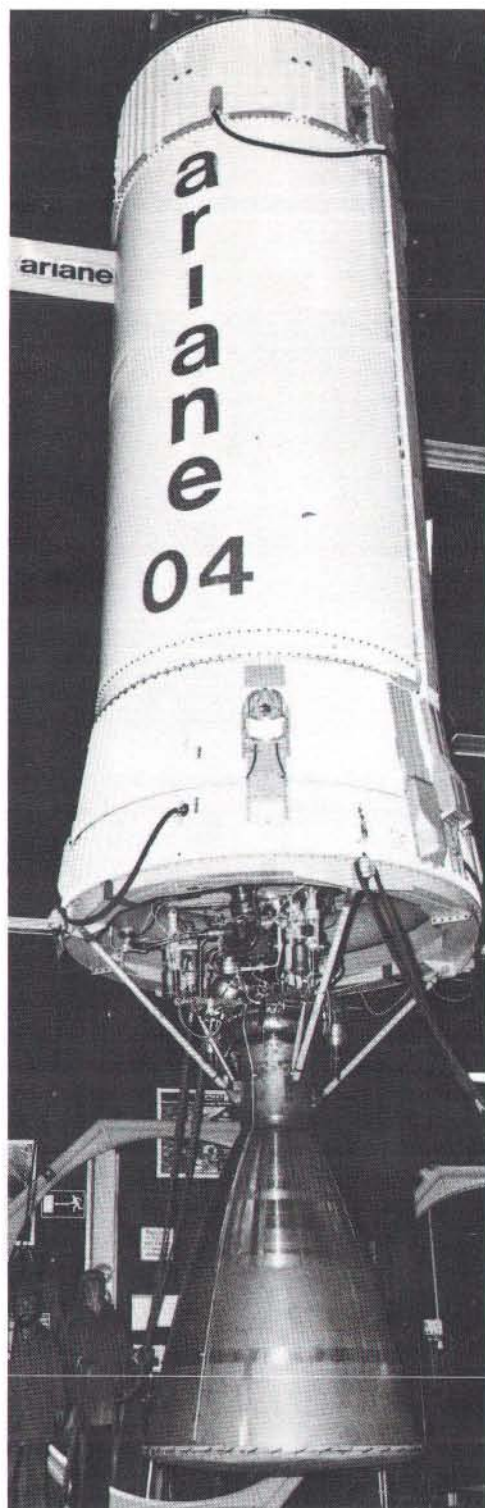


Fig. 4. Een schematische weergave van het principe van de vaste-stofverbrandingskamer die bij TH/TNO onderzocht wordt als mogelijke efficiënte en schone energiebron. Rechts zijn de turbulente wervelingen in de stroom van verbrandingsgassen aangegeven die de verbranding op een voorlopig nog niet geheel opgehelderde wijze beïnvloeden.



maal zo ver is dat deze technische dromen verwezenlijkt zijn, moet eerst het verbrandingsproces in deze hoog turbulente stromingen veel beter begrepen zijn. Een uitgebreid onderzoek naar dit soort verbranding is recentelijk door de TH en TNO gezamenlijk aangevangen met steun van de Stichting voor de Technische Wetenschappen en het Projectbureau Energie Onderzoek. Beantwoorden de resultaten van dit onderzoek aan de hoop en verwachtingen dan kan een belangrijke stap op weg naar een efficiëntere energie-omzetting en schonere afvalverwerking worden gezet. Als ramjet-toepassing zou Nederland een bijdrage aan de prestatieverbetering van de Ariane kunnen leveren, iets waar de ESA al enige tijd naar streeft.

Hoewel rakettechniek en raketonderzoek in Nederland beperkt van aard en omvang zijn, is hier langzamerhand toch een hoeveelheid kennis en ervaring opgebouwd die uniek is. Kennis die vooralsnog haar toepassing vindt in de rakettechniek, maar die waarschijnlijk ook bruikbaar zal zijn voor zo totaal andere gebieden als afvalverbranding en efficiëntere energie-opwekking.

#### Bronvermelding illustraties

NASA, Washington: pag. 518-519, 521 rechts, 522 rechts, 523, 526-527 boven.  
Gemeentearchief Vlissingen: pag. 520-521.  
Ch. Titulaer, Houten: pag. 524 onder.  
APN: pag. 524 boven.  
Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH, W.-Duitsland: pag. 533.  
ERNO Raumfahrttechnik GmbH, Bremen: pag. 532, 537.  
Hughes Aircraft Company, England: pag. 526 onder.

# NEUROANATOMIE

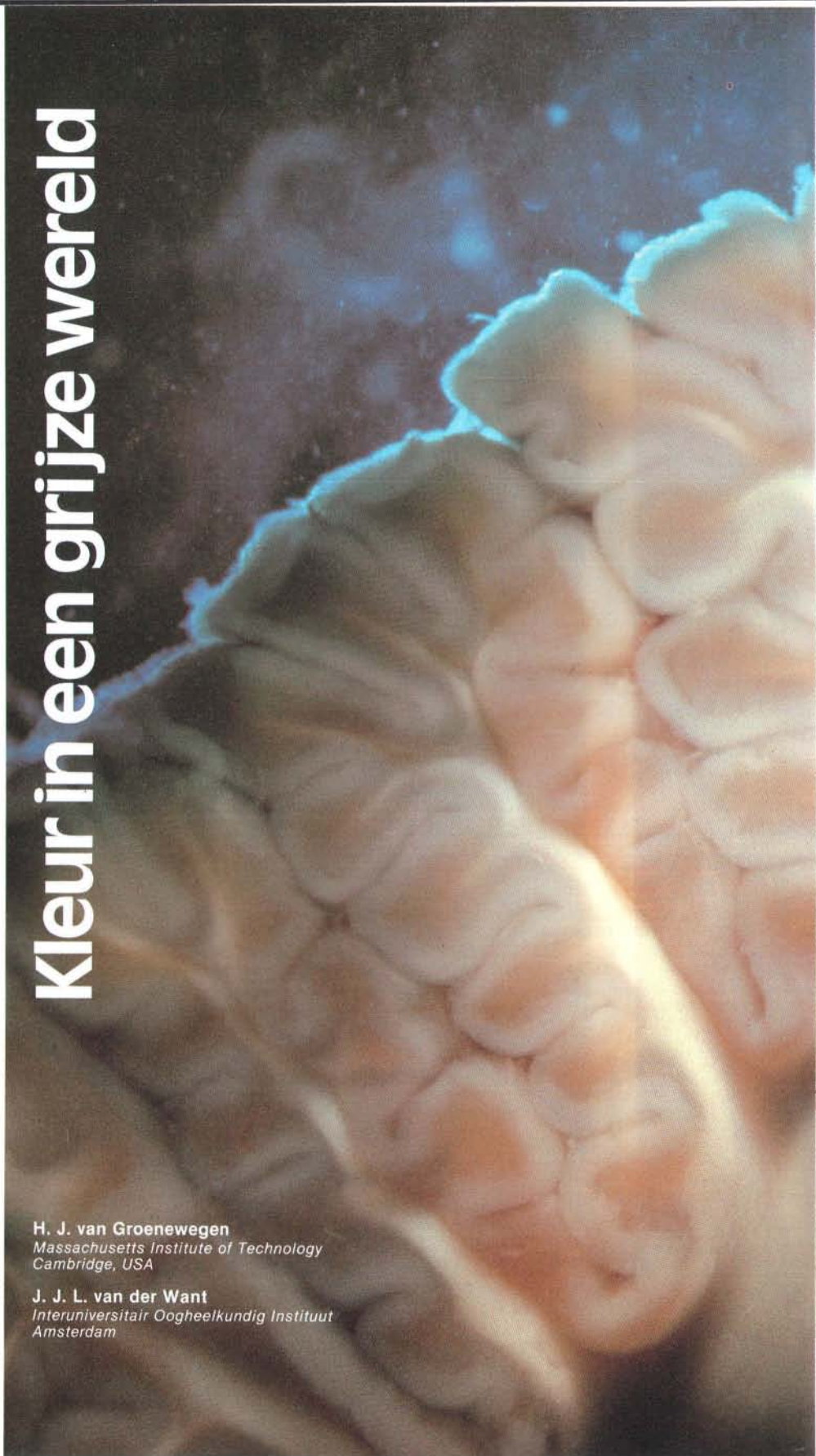
## Kleur in een grijze wereld

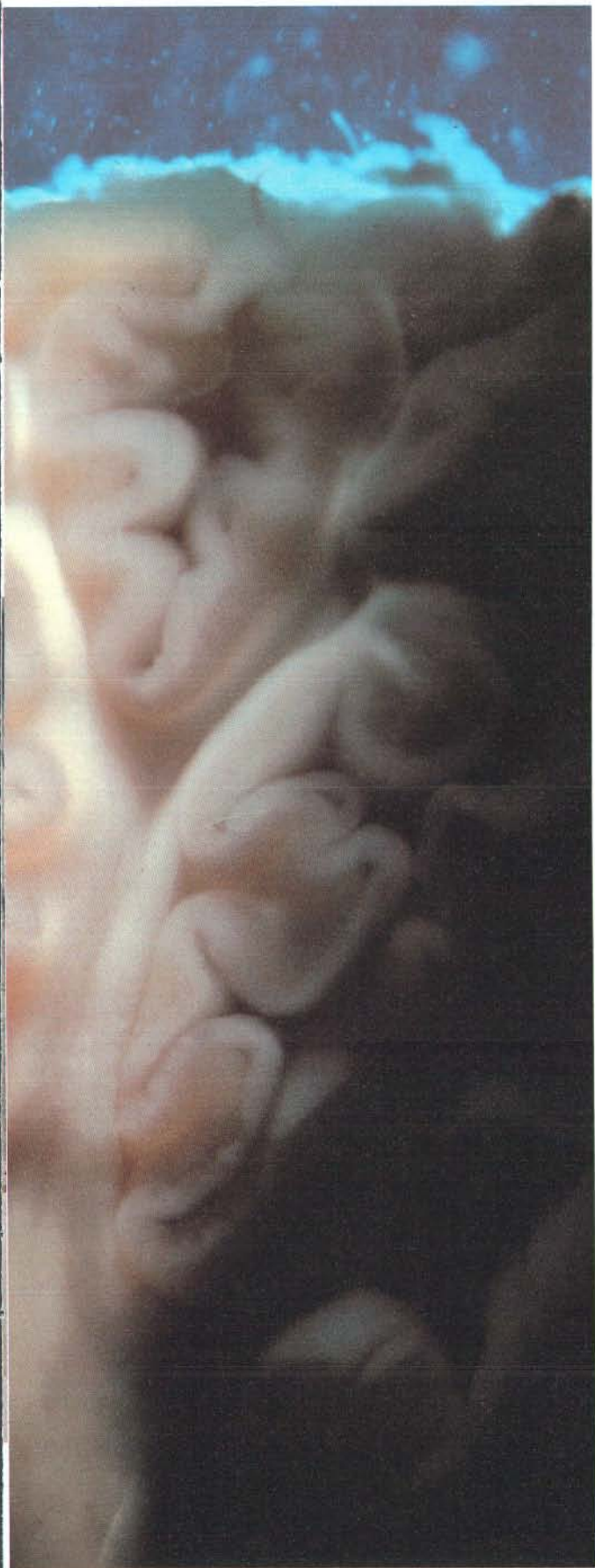
**H. J. van Groenewegen**

*Massachusetts Institute of Technology  
Cambridge, USA*

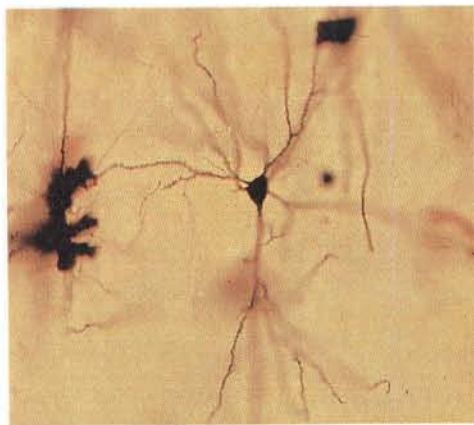
**J. J. L. van der Want**

*Interuniversitair Oogheelkundig Instituut  
Amsterdam*





Inzicht in de structuur en functie van de grootste 'telefooncentrale' ter wereld, de hersenen, is pas goed mogelijk geworden sinds de toepassing van licht- en elektronenmicroscopen. Een zo mogelijk nog groter aandeel in de groei van kennis over zenuwcircuits op microniveau hebben diverse kleur- en merktechnieken. Door deze vormen van spoorzoeken op de vierkante millimeter is een functionele inkleuring van grote delen van de grijze en witte massa gerealiseerd. Dit artikel laat een aantal voorbeelden zien van technieken, toegepast op de kleine hersenen van de kat.

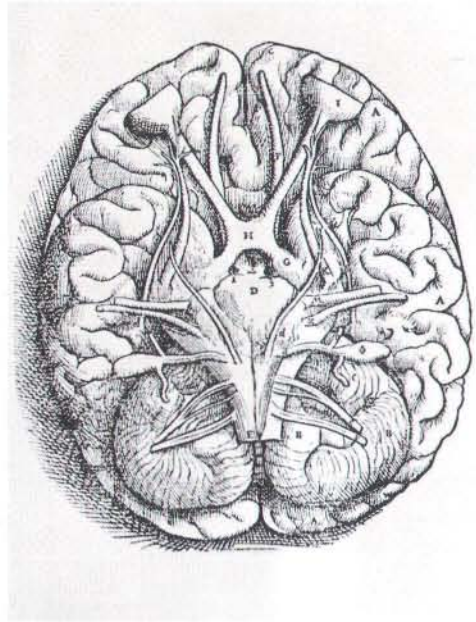


De kleine hersenen van de mens bestaan uit een gigantische hoeveelheid zenuwcellen die in een sterk geplooid structuur gerangschikt zijn.

Een lichtmicroscopische opname van een volgens de Golgi-methode geïmpregneerde zenuwcel uit een gedeelte van de visuele schors van de grote hersenen van het konijn.

## Ontluikend weten

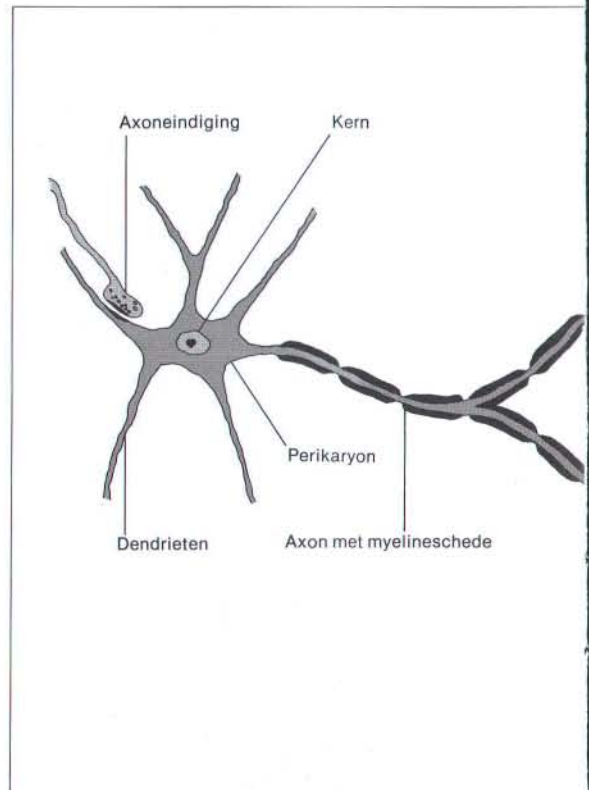
Sinds de tijd van de Grieken zijn de hersenen een bron van studie en vooral van speculatie geweest. Terwijl Aristoteles zenuwen nog met pezen verwarde en de zetel van de intelligentie in het hart plaatste, was Plato al van mening dat het gevoel en het denken in de hersenen zelden. Hoewel onder andere Herophiles en Galeus in de Griekse en Romeinse tijd bijgedragen hebben aan de beschrijving van de anatomie van de menselijke hersenen, duurde het tot de Renaissance voordat er een nieuwe impuls werd gegeven aan de bestudering van het zenuwstelsel. In die tijd keerde men weer terug tot de bestudering van de hersenen door middel van ontleding. Bovendien kwamen nieuwe reconstructie- en gravure-technieken ter beschikking. Vooral Leonardo da Vinci en Vesalius leverden belangrijke bijdragen aan de hernieuwde studie van het zenuwstelsel. Met behulp van doorsneden door de hersenen, een ge-



Rechtsboven: Fig. 1. Een van de eerste afbeeldingen van macroscopisch zichtbare zenuwbanen bij de mens: een houtsnede uit het in 1543 uitgegeven boek 'De humani corporis fabrica', waarin Vesalius een onderaanzicht van de hersenen toont.

heel nieuwe techniek voor die tijd, beschreef Vesalius zeer nauwkeurig een aantal macroscopisch zichtbare kern- en vezelgebieden.

Het gebruik van de microscoop stelde Van Leeuwenhoek een aantal eeuwen later in staat om de in zijn tijd heersende opvatting dat zenuwen hol zijn, aan te vechten. Hoewel onontbeerlijk, betekende het beschikbaar komen van de microscoop op zichzelf nog geen grote vooruitgang in de neuroanatomie. Een weefselcoupe van de hersenen waarin alle cellen zijn gekleurd, geeft enige informatie over de ligging van verschillende cellen ten opzichte van elkaar, maar geeft geen inzicht in de bouw van de individuele cel, noch van de intensieve contacten die zenuwcellen met elkaar hebben. Om individuele zenuwcellen of hun uitlopers zichtbaar te maken zijn speciale kleurtechnieken nodig. Voorwaarde voor een bruikbare kleurtechniek is dat één cel of een verwante groep cellen, of hun uitlopers, duidelijk herkenbaar zijn ten opzichte van de andere cellen die niet of anders gekleurd zijn.



## Het neuron

De hersenen zijn als ieder ander lichaamsorgaan opgebouwd uit een weefsel. Hoewel dit, net als andere weefsels, uit cellen bestaat is het vele malen complexer van opbouw dan enig andere structuur van het lichaam. Zenuwcellen (*neuronen*) hebben veel eigenschappen gemeen met andere lichaamscellen. Ze zijn echter zeer gespecialiseerd en kunnen niet meer delen. Het woord cel roept wellicht een beeld op van een regelmatige structuur, rond, cilinder- of kubusvormig. Een zenuwcel lijkt echter veel meer op een sterk vertakte, uitgegroeide boom (fig. 2). Een zenuwcel bestaat uit een cellichaam (*perikaryon*) met in het algemeen een groot aantal korte uitlopers (*dendrieten*) en één lange uitloper (*axon*). Het axon kan uitgroeien tot een lengte van enkele tientallen centimeters of zelfs enkele meters, het kan zich vertakken in zogenaamde *collateralen* en het kan omwikkeld zijn met een schede bestaande uit stijf op-

gerolde celmembranen (*myelinedschede*). De uiteinden van axonen staan in functioneel contact met een volgende zenuwcel of een spiercel. In deze contactplaatsen (*synapsen* of *eindigingen*) bevinden zich blaasjes met overdrachtstoffen waardoor signalen van de ene aan de andere zenuwcel doorgegeven worden (fig. 2). Het cellichaam van de zenuwcel bevat de kern met daarin een kernlichaampje en een sterk ontwikkeld endoplasmatisch reticulum, het apparaat voor de eiwitsynthese.

Het zenuwstelsel bestaat uit een netwerk van ongeveer  $10^{11}$  (honderd biljoen) zenuwcellen met hun uitlopers, omgeven door een veelvoud aan steuncellen (*glia-cellen*). Het kenmerkende van zenuwcellen is dat ze specifiek prikkelbaar zijn en op een specifieke manier zenuwprikkels (*actiepotentialen*) kunnen geleiden. Als een axon gemyeliniseerd is, vinden we in de myelinedschede de zogenaamde knopen van Ranvier, die een belangrijke rol spelen bij de geleiding van de zenuwprikkels.

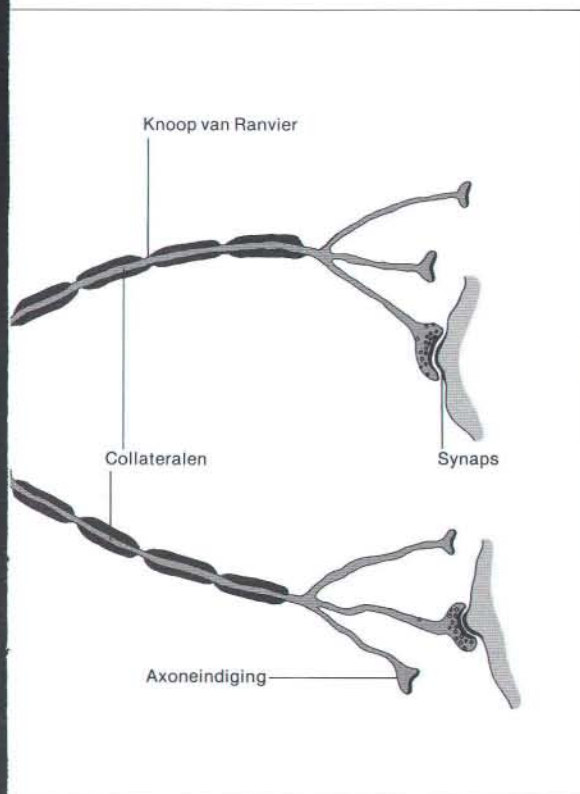


Fig. 2. Een schematische weergave van een zenuwcel met het cellichaam, de dendrieten en een gemyeliniseerd axon. Vertakkingen van het axon maken door middel van synapsen contact met andere zenuw- of spiercellen. De foto toont zo'n synaps in de kleine hersenen van de kat door het oog van een elektronenmicroscop. De eindiging vertoont plaatselijk een verdikking van de membraan en aan de presynaptische zijde liggen talloze synaptische blaasjes waarin zich stoffen bevinden die de overdracht van de zenuwprikkel tot stand brengen.

## Structuur en functie

Kennis van de structuur van een orgaan is een noodzakelijke voorwaarde voor het begrip van de functie ervan. In het algemeen is het zo dat waar structurele verschillen worden gevonden, er ook verschillen in functie zijn. In de neurologie, waar we te maken hebben met het functioneren van het zenuwstelsel onder normale en pathologische omstandigheden, is de kennis van de bouw van de hersenen van groot belang. Bij de bestudering van het zenuwstelsel, of dit nu de anatomie, de fysiologie of de farmacologie betreft, worden we geconfronteerd met de ingewikkelde bouw van dit orgaansysteem. De verschillende delen van het zenuwstelsel waarin zich de zenuwcellen bevinden, schors- en kerngebieden, staan via vezelbanen met elkaar in verbinding en kunnen elkaar zo beïnvloeden. Met het blote oog gezien steken vezelbanen door hun hoog myelinegehalte wit af tegen gebieden, rijk aan cellen (schors- en kerngebieden en de grijze stof van de hersenen).

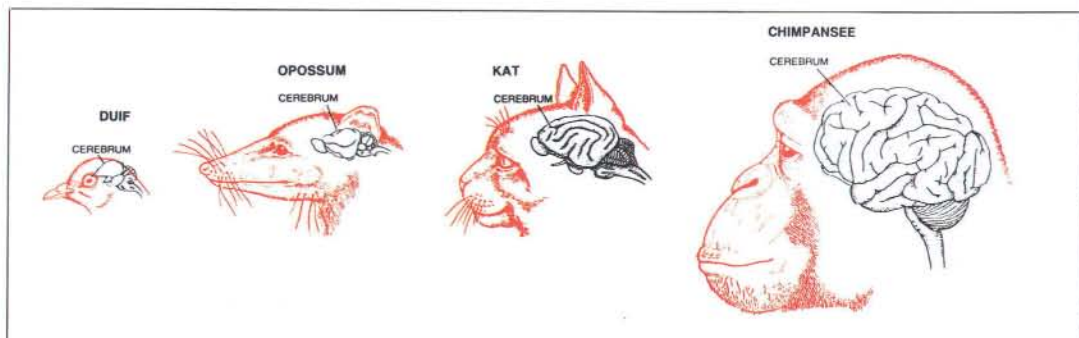
De verbindingen tussen de verschillende delen van het zenuwstelsel zijn alleen voor wat betreft de grote vezelbanen door gewone waarneming met het blote oog terug te vinden. De

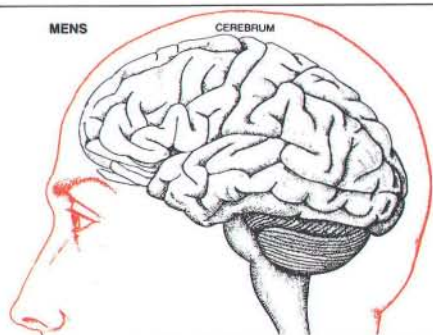
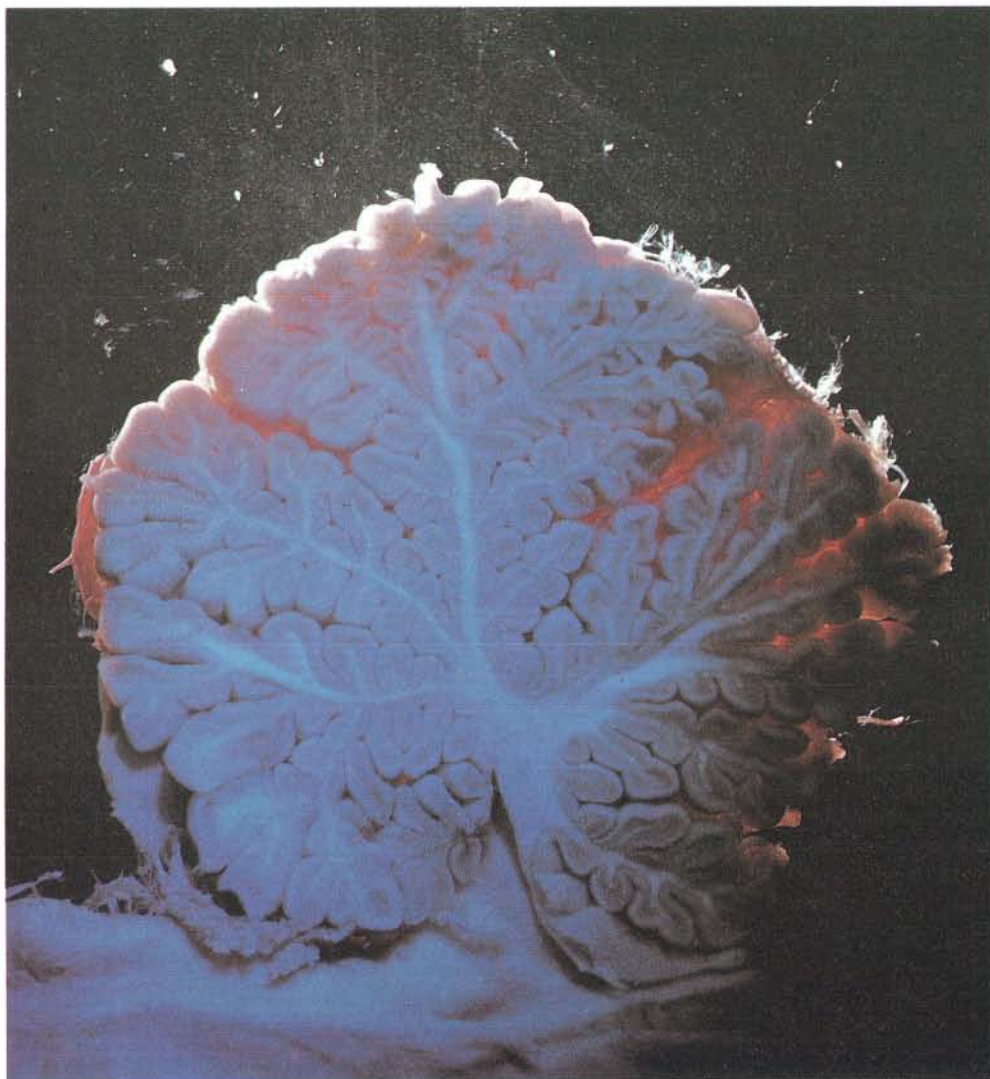
microscopische bestudering van weefselcouples geeft ons echter ook maar tot op zekere hoogte informatie over verbindingen. Bij de bestudering van zenuwverbindingen is men daarom erg afhankelijk van de mate waarin bepaalde vezelsystemen ten opzichte van andere vezelsystemen zijn te onderscheiden.

Als ergens in de hersenen een beschadiging optreedt, veranderen de zenuwcellen en hun uitlopers zodanig dat ze met speciale kleuringen duidelijk zichtbaar zijn tussen de vezels. Verreweg het grootste deel van onze kennis van vezelverbindingen in het zenuwstelsel is dan ook verkregen uit de bestudering van na een beschadiging pathologisch veranderde (gedegenererde) vezelbanen. Hoewel een deel van de neuroanatomische inzichten afkomstig is van de bestudering van menselijke hersenen, heeft experimenteel onderzoek bij verschillende dieren veel meer tot deze kennis bijgedragen. De hersenen van verschillende diersoorten komen qua bouw op een verrassende manier met elkaar overeen. Structuren met een vergelijkbare bouw en functie komen in de hersenen van alle gewervelden voor, of het nu vissen, reptielen of zoogdieren betreft. Ook de verbindingspatronen binnen de hersenen van verschillende diersoorten vertonen een verbluffende gelijke-

Rechts: De levensboom, arbor vitae, gevormd door de witte vezelbanen en groeven en plooiën in de schors van de kleine hersenen. Door de plooiing kan een enorm oppervlak binnen de schedel opgeborgen worden.

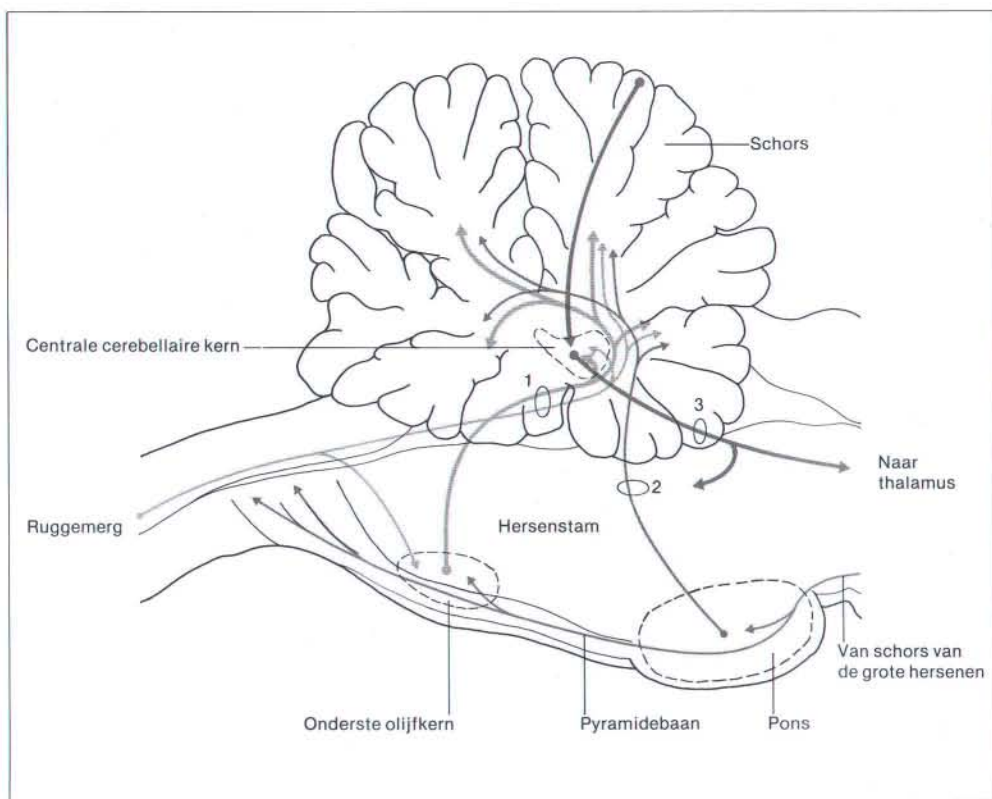
Onder: Fig. 3. Een schematisch overzicht van de hersengroottes van verschillende diersoorten en de mens. Ondanks deze verschillen zijn de structuren vrij sterk analoog.





nis, hoewel we natuurlijk gegevens van de ene diersoort niet zonder meer naar die van een andere diersoort of de mens mogen doortrekken.

In het hierna volgende zullen een aantal neuroanatomische technieken worden beschreven die in belangrijke mate hebben bijgedragen - en nóg bijdragen - aan onze kennis van de bouw van het zenuwstelsel. De resultaten van verschillende technieken worden geïllustreerd aan de hand van experimenten aan de kleine hersenen van de kat maar deze gelden evenzeer voor andere dieren en de mens.



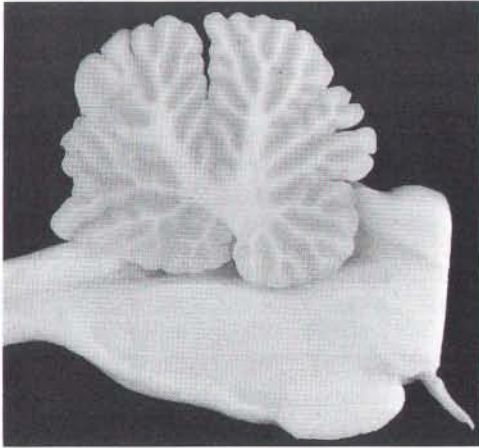
## De bouw van de kleine hersenen

### Macroscopie

De kleine hersenen (het *cerebellum*) liggen achter de grote hersenen (het *cerebrum*), boven de hersenstam (fig. 4). In het verlengde van de hersenstam ligt het ruggemerg. Grote hersenen, kleine hersenen en hersenstam liggen binnen de schedel, terwijl het ruggemerg omgeven wordt door de wervelkolom. Te zamen vormen deze structuren het *centrale zenuwstelsel*. De kleine hersenen bestaan in principe uit een dunne, zeer uitgebreide schorslaag (*cortex*) met daarbinnen de witte stof. Vanwege de beperkte ruimte in de schedel is de schors van de kleine hersenen als het ware opgevouwen en zijn aan de buitenzijde ervan vele plooien zichtbaar. In een vooraanzicht van de kleine hersenen is te zien dat de plooien en de groeven ertussen in een groot deel van de kleine hersenen dwars op de lengteas ervan verlopen. In een midsagittale doorsnede dwars door de kleine herse-

nen en de hersenstam is te zien dat binnen de bedekkende, grijze schorslaag de witte stof is gelegen. De witte stof, vanwege zijn karakteristieke vorm in de midsagittale doorsnede levensboom (*arbor vitae*) genoemd, bestaat uit de aanvoerende (*afferente*) en afvoerende (*efferente*) vezels van de schors. Verborgen in de witte stof ligt een aantal opeenhopingen van zenuwcellen (kernegebieden) die te zamen de centrale kernen van de kleine hersenen vormen. Het cerebellum is via drie grote vezelbundels met de hersenstam verbonden: de onderste, middelste en bovenste cerebellaire pedunkels. De onderste en middelste cerebellaire pedunkels bevatten voornamelijk aanvoerende vezels, de bovenste cerebellaire pedunkels bestaan uit de afvoerende vezels. Langs de centrale cerebellaire kern van de kleine hersenen passeren de vele miljoenen zenuwverbindingen die de communicatie verzorgen tussen de schors van de kleine hersenen en de rest van het zenuwstelsel (fig. 4).

Links: Fig. 4. Een schematische weergave van de voornaamste zenuwverbindingen tussen kernen in de hersenstam (de onderste olijkern en de pons) en in de kleine hersenen (de centrale cerebellaire kern), en de schors van de kleine hersenen. De stippen geven de plaatsen van de cellichamen aan, de pijlen indiceren de richtingen waarin de axonen projecteren. De cijfers 1, 2 en 3 geven de plaatsen aan van de onderste, middelste en bovenste cerebellaire pedunkels. De foto geeft aan hoe zo'n midsagittale doorsnede door de kleine hersenen er in werkelijkheid uit ziet. De witte stof van de vezelverbindingen steekt duidelijk af tegen de grijze stof van de schors.



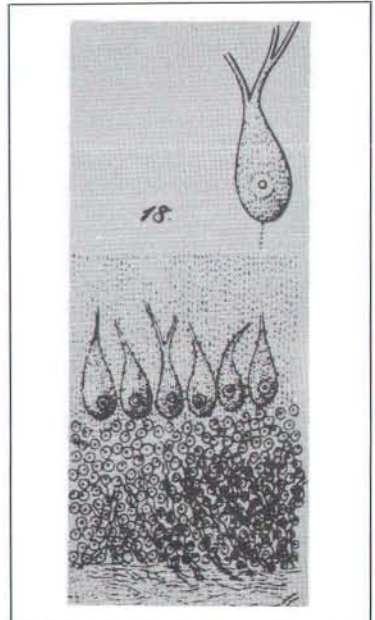
### Microscopie

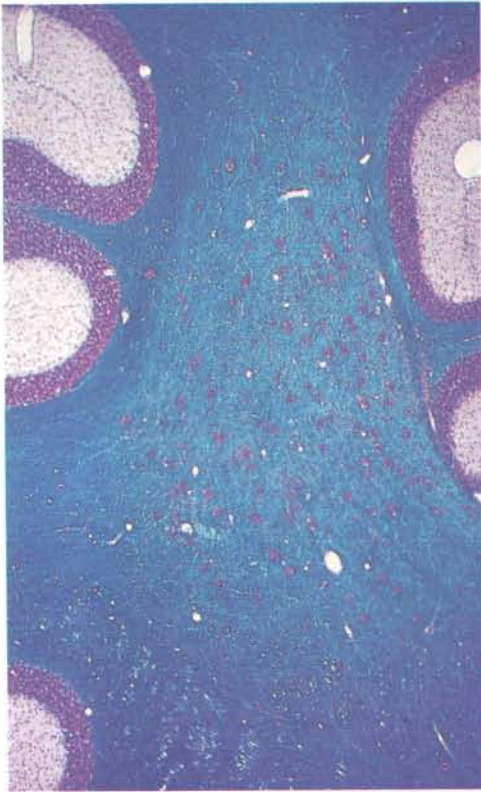
In het macroscopische preparaat is heel vaag te zien dat de schors van de kleine hersenen uit meerdere lagen bestaat (zie foto hiernaast). Een microscopisch beeld van een stukje schors, gekleurd met de Klüver-Barrera-cel- en vezelkleuring (foto op pag. 546), toont drie verschillende cellagen: de moleculaire laag, de Purkinje-cellaag en de korrelcellaag. De Purkinje-cellaag bestaat uit een laag grote cellen, genoemd naar Jan E. Purkinje die deze cellen voor het eerst beschreef (fig. 5). De moleculaire laag bevat maar weinig cellen, terwijl de korrelcellaag de meest celrijke laag van de hersenen is. Te zamen met de zenuwcellen van de centrale cerebellaire kernen vormen de korrelcellen en de Purkinje-cellen de hoofdbestanden van het *cerebellaire circuit* (zie intermezzo op pag. 548 en 549). Echter alleen met behulp van speciale kleuringen zijn de verbindingen in dit circuit opgehelderd.

### De Golgi-kleuring

Aan de hand van voorbeelden van experimenten in de kleine hersenen zullen enkele neuroanatomische technieken worden besproken. De eerste is de *Golgi-techniek*.

Fig. 5. J. E. Purkinje (1787-1869), één van de grondleggers van de huidige neuroanatomie en de klassieke tekening waarin hij de Purkinje-cellen in de schors van de kleine hersenen voor het eerst beschreef.

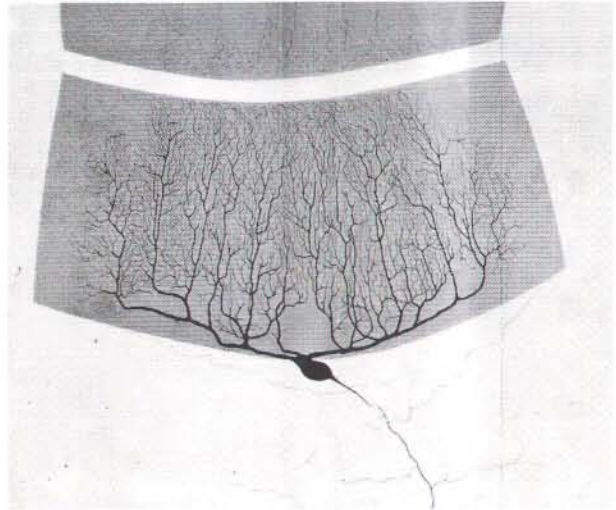


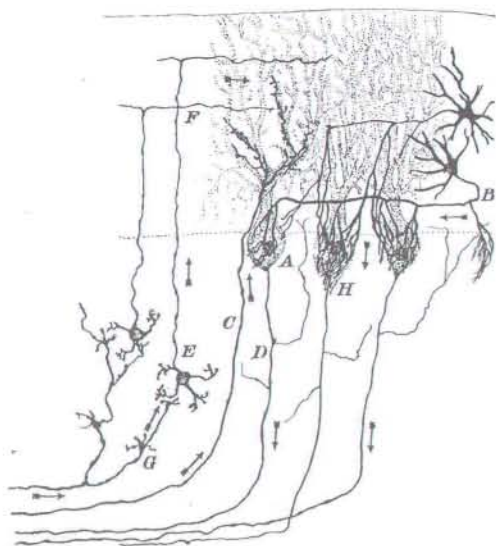


Boven: Een histologische coupe van het centrale deel van het cerebellum gekleurd volgens de methode Klüver-Barrera. De gemyeliniseerde axonen zijn blauw gekleurd, de cellichamen zijn rood/paars. De onder-

De ontdekking door Camillo Golgi omstreeks 1875 van een zilverkleuring die selectief enkele zenuw- of gliacellen in een bepaald gebied kleurt, terwijl de rest van de cellen ongekleurd blijft, is een grote stap voorwaarts geweest in de neuroanatomie. Tot op de dag van vandaag is onduidelijk waarom deze Golgi-keuring slechts één op honderd cellen volledig kleurt en de rest ongemoeid laat (zie fig. 6 en foto rechtsonder). Met behulp van deze kleuring heeft Santiago Ramon y Cajal vrijwel ieder onderdeel van het zenuwstelsel bestudeerd. Zijn bijdragen aan de neuroanatomie, onder andere in de vorm van zijn werk '*Histologie du système nerveux de l'homme et des vertébrés*', zijn tot op de dag van vandaag actueel (zie fig. 7). Een van de grote verdiensten van Cajal is dat hij inging tegen de algemeen heersende opvatting dat het zenuwstelsel min of meer willekeurig is opgebouwd. Hij toonde daarentegen aan dat er een sterke ordening en een specifieke organisatie in het zenuwstelsel bestaat. Bovendien was Cajal aanhanger van de zogenaamde *Neurontheorie*. Aan het eind van de vorige eeuw waren velen, onder wie Golgi, van opvatting dat het zenuwstelsel uit een netwerk (een *reticulum*) van in open verbinding met elkaar staande cellen bestaat. Ca-

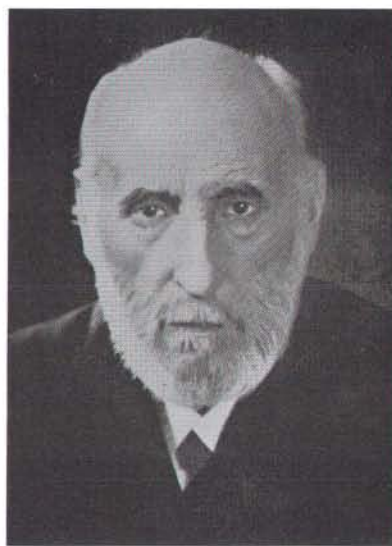
verdeling van de schors is duidelijk te zien: een buitenste relatief cel-arme laag (de moleculaire laag) en een cel-rijke laag (de granulaire laag). Hiertussen liggen de Purkinje-cellen.





Linksonder: Fig. 6. Een uitermate gedetailleerde tekening van een door Camillo Golgi (zie foto) in 1882 gepubliceerde tekening van een Purkinje-cel.

Onder: Een Purkinje-cel gekleurd volgens de Golgi-methode. Het cellichaam ligt op de grens van een moleculaire en granulaire laag. De wijdivertakte dendriet-boom strekt zich uit in een vlak tot ver in de moleculaire laag.



Boven: Fig. 7. Verbindingen van zenuwcellen in de kleine hersenen. In 1894 door de fameuze neuroanatomoom Ramón y Cajal (zie foto) gepubliceerd. Aangegeven zijn Purkinje-cellen (A) waarvan de cellichamen omgeven zijn door uitlopers (B) van de ster-vormige cellen in de moleculaire laag. Verder zijn zichtbaar klimvezels (C), een radiale vezel van een Purkinje-cel (D), korrelcellen (E), parallelvezels (F) en mosvezels (G).



jal kwam echter tot de conclusie dat het zenuwstelsel uit afzonderlijke eenheden is opgebouwd. Op grond van fysiologische experimenten postuleerde Sir Charles Sherrington het bestaan van de synaps als contactplaats tussen twee neuronen, als functionele eenheid. Dat de aanhangers van de neurontheorie, Cajal en Sherrington, gelijk hadden, kon pas met de invoering van de elektronenmicroscopie zichtbaar gemaakt worden. Uit elektronenmicroscopische opnamen blijkt dat de contactplaats tussen twee neuronen uit gespecialiseerde celmembranen is opgebouwd (foto rechts). Aan de presynaptische zijde zijn blaasjes aanwezig met overdrachtstoffen.

Rechts: Een elektronenmicroscopische opname van een volgens de Golgi-methode geïmpregneerde (de korreltjes) dendriet, waarop twee synapsen (pijl) eindigen. Door combinatie van EM en Golgi-kleuring kan de plaats van alle synapsen op één neuron gereconstrueerd worden.

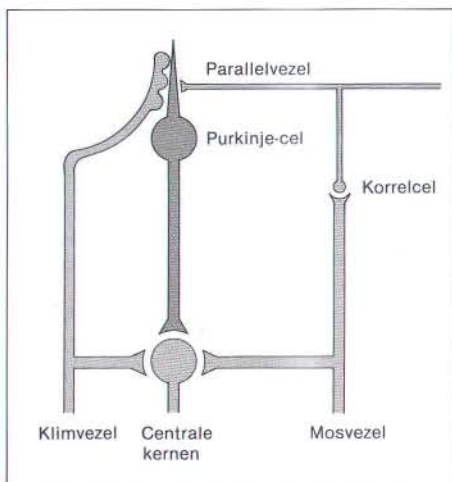
## INTERMEZZO

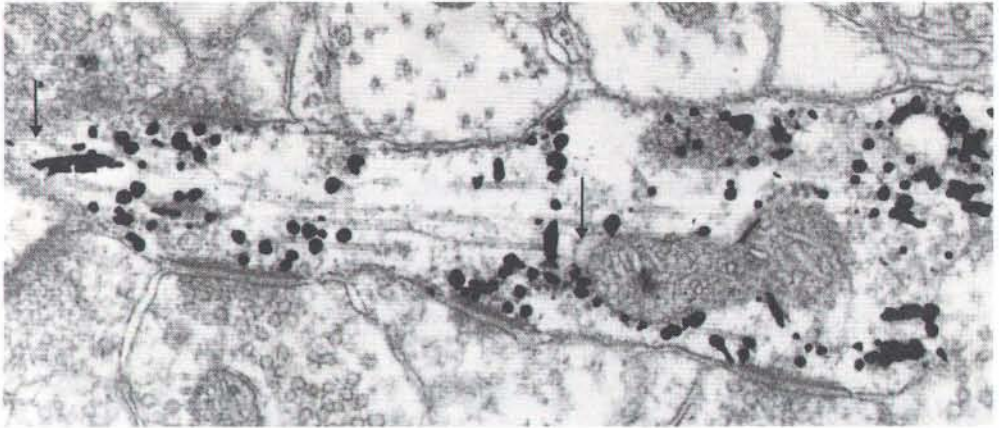
De Purkinje-cel neemt in het cerebellaire circuit een centrale plaats in. De dendrieten van de Purkinje-cel dringen de moleculaire laag binnen en reiken daar tot aan het oppervlak van de schors. Haar axonen lopen van de schors via de witte stof naar de centrale kernen van de kleine hersenen, waar ze een synaps hebben. De korrelcellen hebben korte dendrieten die binnen de granulaire laag blijven en een kort axon dat via de Purkinje-cellaag de moleculaire laag bereikt. Hier splitsen deze axonen in tweeën en de beide splitsingen gaan evenwijdig aan het oppervlak van de schors lopen. Deze zogenaamde *parallelvezels* maken synaptisch contact met meerdere Purkinje-cellen. Informatie komt de kleine hersenen hoofdzakelijk binnen via twee soorten aanvoerende vezels: de *mosvezels* en de *klimvezels* (fig. 1-1). De mosvezels, die hun oorsprong hebben in het ruggemerg en de hersenstam, eindigen in een korrelcellaag en maken daar met rozetachtige eindigingen synaptisch contact met verschillende korrelcellen. De klimvezels hebben hun oorsprong in de onderste olijkern (bij de mens een knobbel ter grootte van een olijf in de hersenstam) en deze vezels lopen in de schors van de kleine hersenen door tot in de moleculaire laag. Ze maken daar intensief synaptisch contact met de dendrieten van de Purkinje-cellen. Zowel mosvezels als klimvezels zenden collateralen naar de centrale kernen van de kleine hersenen. Alle vezels die de kleine hersenen verlaten ont-

## Het cerebellaire circuit

springen in de centrale cerebellaire kernen. Deze zenuwvezels lopen vervolgens via de bovenste cerebellaire pedunkel naar de hersenstam en de voorhersenen.

De functie van de kleine hersenen is niet precies bekend. Het is echter wel duidelijk dat deze functie iets te maken heeft met de coördinatie van bewegingen. Daartoe krijgen de kleine hersenen informatie uit de schors van de grote her-

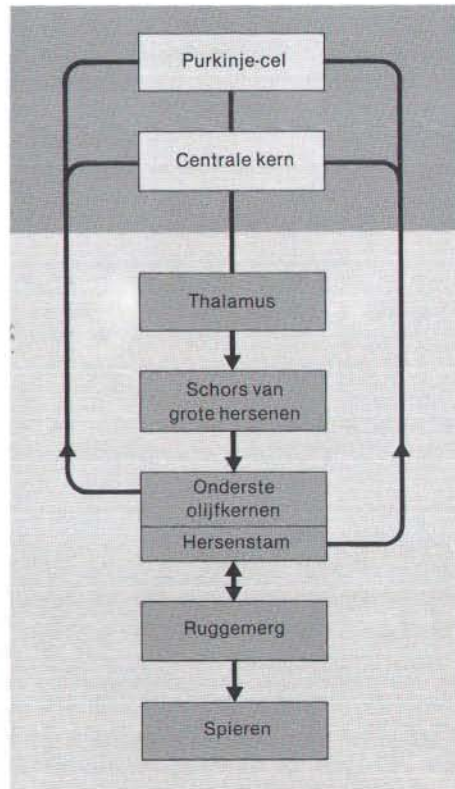




senen, waar de planning van de beweging plaats vindt. Bovendien komt via banen uit het ruggemerg in het cerebellum informatie binnen over het verloop van de beweging. Het cerebellum kan door middel van verbindingen via de voorhersenen naar de grote hersenen en via de hersenstam naar het ruggemerg invloed uitoefenen op het verloop van de beweging van de talloze spieren indien dat nodig is (fig. 1-2).

Links: Fig. 1-1. Een schema van het neuronale circuit in de schors van de kleine hersenen. De mossels voeren prikkels aan uit de hersenstam en het ruggemerg; de klimvezels uit de onderste olijkern (zie ook fig. 4 en 7).

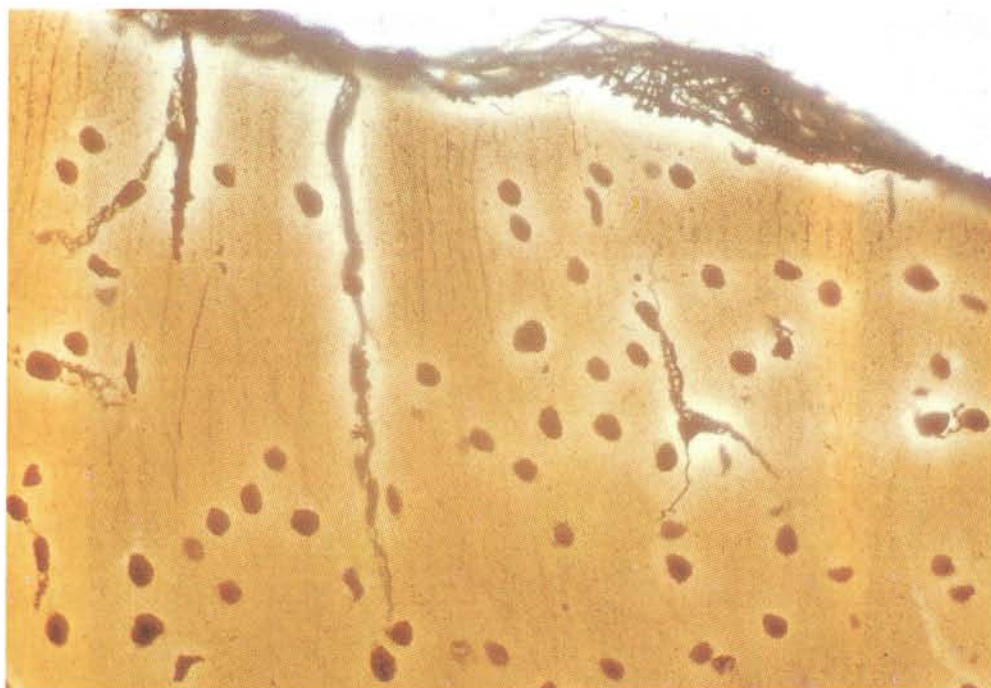
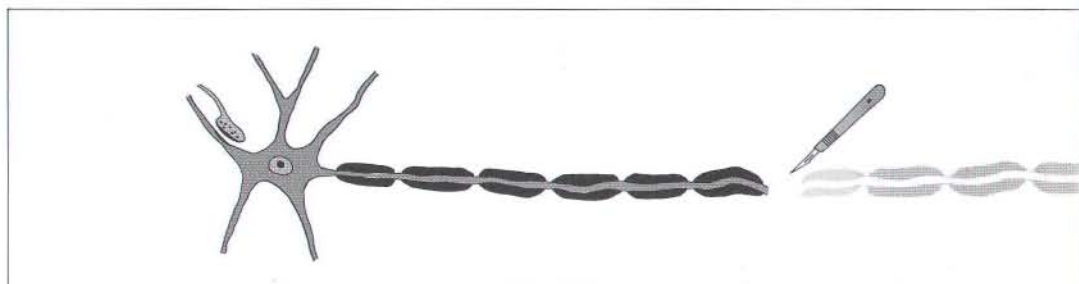
Rechts: Fig. 1-2. Een diagram waarin de interacties tussen de voornaamste componenten van het cerebellaire circuit aangegeven zijn. De functie is vooral gelegen in de fijnbesturing van de spierbewegingen.



De Golgi-techniek wordt op het moment veelvuldig toegepast in combinatie met elektronenmicroscopie. De kleuring van een zenuwcel volgens Golgi laat de bouw van de cel eerst in zijn totaliteit zien (zie foto op pag. 549). Vervolgens kan de cel gedeeltelijk of in zijn geheel in de elektronenmicroscopie bestudeerd worden samen met de relaties die deze cel heeft met de omgevende zenuw- en gliacellen. Zo kunnen cellen tot in groot detail bestudeerd worden, soms zelfs in relatie tot de afvoerende banen. Dat geeft ons dan een beeld van de ultrastructurele opbouw van deze cel en van de verbindingen die deze cel met de rest van het zenuwweefsel heeft.

## Vezelverbindingen

De technieken die op dit moment gebruikt worden om verbindingen in het zenuwstelsel te bestuderen, kunnen globaal in twee groepen worden ondergebracht. Bij de ene groep gaat men uit van het cellichaam en kijkt men naar de gebieden waar dit neuron zijn axonen heen-zendt. Er wordt dus gekeken in de richting waarin over het algemeen de impulsgeleiding over het axon verloopt: *anterograad*. Bij de tweede groep gaat men uit van de andere kant van het axon; er wordt gekeken wáár de cellichamen gelokaliseerd zijn van de axonen die in een bepaald gebied eindigen: *retrograad*.

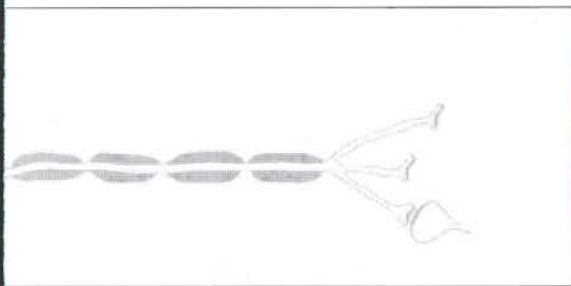


## Anterograde technieken

Technieken die gebruikt worden om de verbandingen van een groep cellen in anterograde richting te bestuderen, zijn gebaseerd op het feit dat het cellichaam het *trofisch centrum* van de zenuwcel is. Dat wil zeggen dat vanuit het cellichaam de uitlopers in stand gehouden worden. Alleen het cellichaam neemt actief laagmoleculaire stoffen zoals suikers en aminozuren uit de omgeving op. Deze stoffen worden ter plekke ingebouwd in bijv. eiwitten. Vervolgens worden deze, eventueel ingebouwd in mitochondria en blaasjes, door de uitlopers naar de uiteinden getransporteerd. Dit actieve

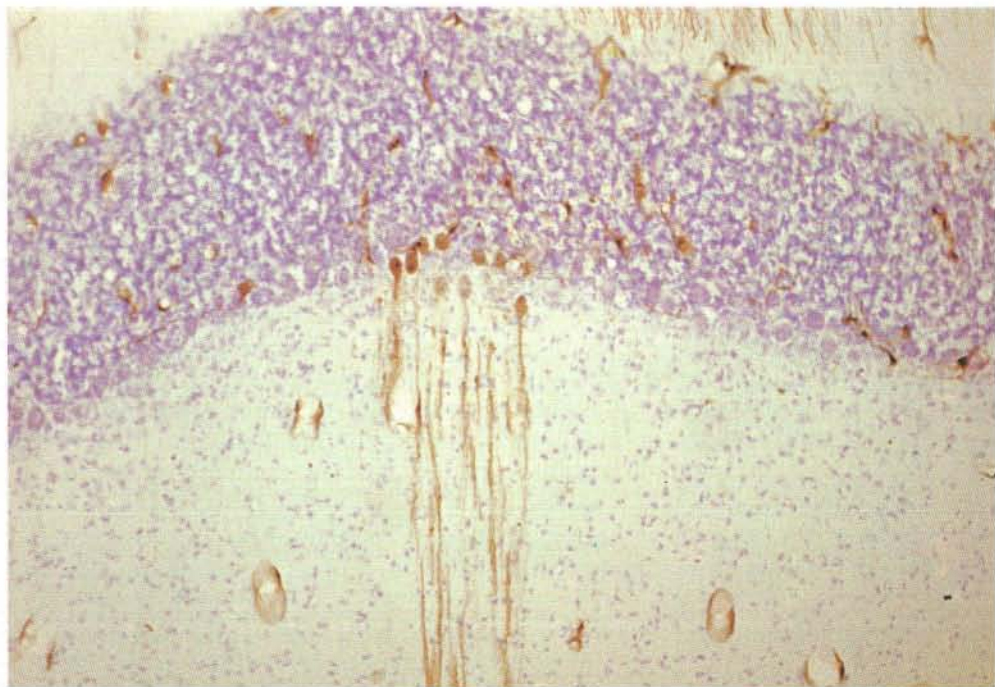
transport in het axon vindt plaats met de zogenaamde *axoplasmaflow*, die uit verschillende componenten bestaat. Globaal wordt een snelle en een langzame component onderscheiden; elk transporteert verschillend materiaal. In werkelijkheid bestaat er tussen deze beide uitersten een heel scala van componenten. De snelle component bevat veel celorganellen en deze worden met een snelheid van ongeveer 300 mm per dag naar de uiteinden getransporteerd. De langzame component beweegt met een snelheid van 2-3 mm per dag en bevat verreweg de meeste nieuw aangemaakte stoffen.

De lengte van de uitlopers van een zenuwcel kan sterk variëren; meestal bevatten ze vele



Links: Fig. 8. Als een axon doorgesneden wordt vinden er veranderingen plaats in het van het cellichaam gescheiden axongedeelte: anterograde degeneratie. Een voorbeeld hiervan is deze lichtmicroscopische opname (foto linksonder) van een gedeelte van de schors waarin door een zilverimpregnatie volgens de Fink-Heimer-methode gedegenererde klimvezels zichtbaar zijn geworden.

Onder: Een lichtmicroscopische opname van Purkinje-cellen in de schors en hun axonen gevuld met HRP.

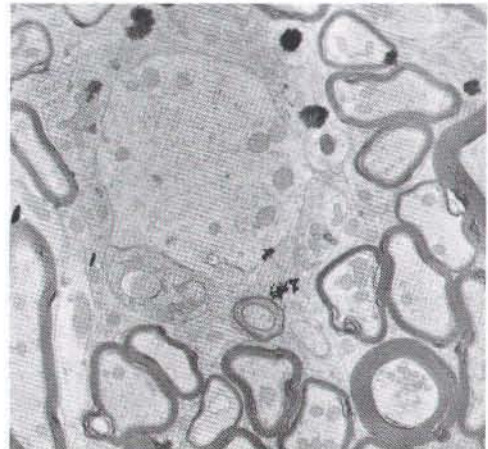
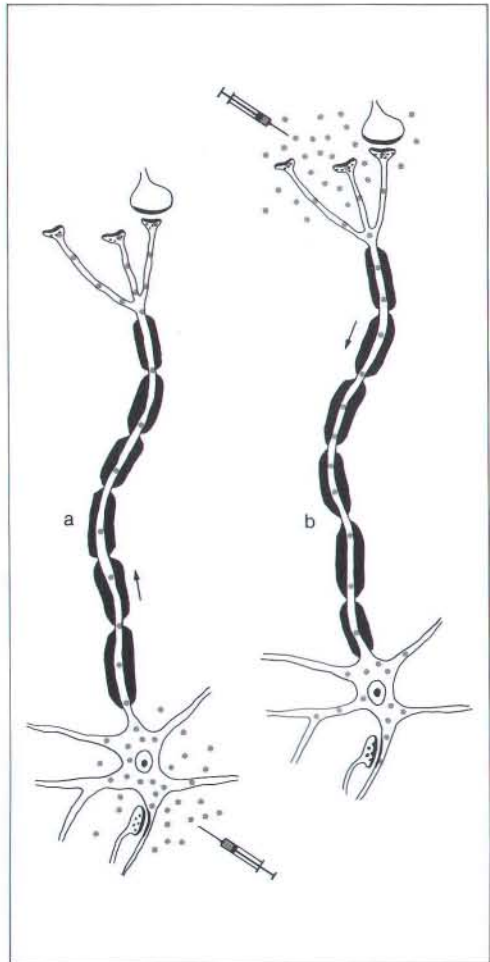


malen meer cytoplasma dan het cellichaam. Omdat het cellichaam de enige plaats in de zenuwcel is waar eiwitsynthese plaatsvindt, zal het duidelijk zijn dat opname, synthese en transport zeer actieve processen zijn.

### Degeneratie

Als een uitloper door een beschadiging wordt gescheiden van het cellichaam dan treedt in dat deel van het axon degeneratie op (fig. 8). In het axon treden, evenals in de omgevende myelineschede, chemische veranderingen op, waardoor de degeneratie selectief gekleurd kan worden ten opzichte van intacte vezels. Een van de oude technieken is de kleuring volgens Marchi, die de degenererende myelineschede laat zien. Door de van oorsprong Nederlandse onderzoeker Nauta werd in het begin van de jaren vijftig een zilverkleuring ontwikkeld waarmee gedegenererde axonen en soms de eindigingen selectief zichtbaar gemaakt kunnen worden. Deze Nauta-kleuring heeft grote bekendheid gekregen en er is vrijwel geen onderdeel van de hersenen dat niet met deze techniek onderzocht is. Maken we bijv. een beschadiging van de onderste olijkern in de hersenstam en laten we het proefdier een week overleven, dan kunnen daarna in weefselcoupes de gedegenererde vezels tussen de olijkern en de kleine hersenen zichtbaar gemaakt worden met de Nauta-kleuring. Gedegenererde vezels kunnen gevolgd worden vanuit de onderste olijkern door de hersenstam. De degeneratie is zichtbaar in de plooien van het cerebellum tot aan de schors. Echter eindigingen in de schors worden niet gevonden, omdat de dunne klimvezeleindigingen in de moleculaire laag met de Nauta-kleuring niet zichtbaar te maken zijn.

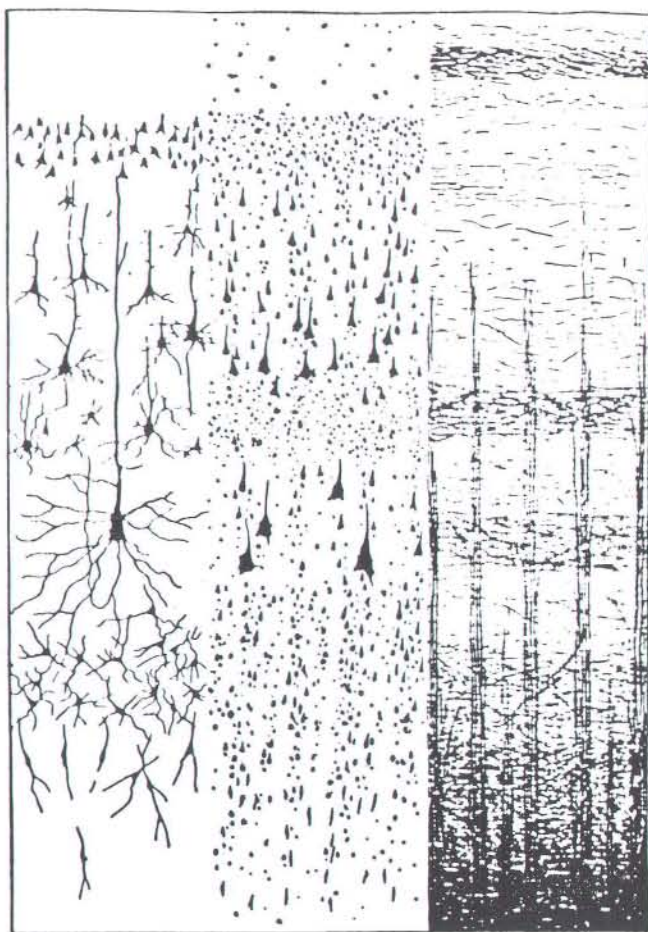
Behalve het feit dat met degeneratiekleuringen in het algemeen erg moeilijk dunne vezels te volgen zijn, heeft de degeneratietechniek nog een groot nadeel. Maken we een beschadiging in een hersenkern dan onderbreken we onvermijdelijk ook vezels die door of langs deze kern lopen, maar waarvan de cellichamen elders liggen. De degeneratie van axonen die ergens in hun loop zijn onderbroken, is niet te onderscheiden van de degeneratie die optreedt na beschadiging van het cellichaam. Deze complicerende passerende vezels maken de interpretatie van de resultaten van degeneratie-experimenten soms erg moeilijk. Deze moei-



Links: Fig. 9. De twee hoofdvormen van neuroanatomische analyse-technieken: het anterograde transport (a) en het retrograde transport (b) van kleur- of merkstoffen. Bij het anterograde transport worden deze stoffen in die gebieden ingespoten waar de cellichamen liggen en worden ze vervolgens door de axoplasmaströmning door de axonen naar de eindigingen getransporteerd. Bij het retrograde transport worden de stoffen in de gebieden van de eindigingen ingespoten en worden ze in de cellichamen teruggevonden.

Fig. 10. Ook de schors van de grote hersenen bezit een streng geordende laagstructuur met vele typen zenuwcellen. In dit schema van een dwarsdoorsnede van de schors wordt getoond hoe drie verschillende kleuringen ieder een eigen beeld geven van de zes lagen. Links een Golgi-kleuring, midden een Nissl-kleuring en rechts een behandeling die vooral de myelinlagen kleurt.

Linksonder: Foto van een EM-autoradiogram van een radioactief gemerkte eindiging van de klimvezel in een centrale cerebellaire kern.



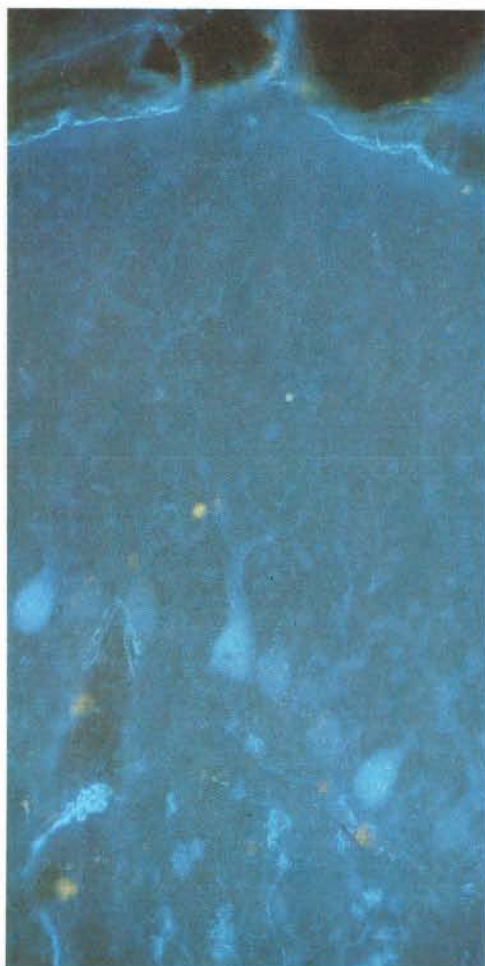
lijkheid wordt ondervangen door technieken waarbij gebruik gemaakt wordt van de transportmechanismen van de zenuwcel.

### *Anterograde transport*

De anterograde axoplasmaflow kan zichtbaar worden gemaakt met radioactief gemerkte stoffen (fig. 9a). In een experiment waarbij gebruik gemaakt wordt van het anterograde transport van radioactief gemerkte aminozuren, wordt als volgt te werk gegaan. Een kleine hoeveelheid met tritium ( $^3\text{H}$ ) gemerkte aminozuren wordt met een dunne naald plaatselijk in de hersenen ingespoten. Na een injectie van aldus gemerkt leucine in de onderste olijkern, nemen de olijfcellen deze stof op en

bouwen het in eiwitten in (zie foto op pag. 554). Vervolgens worden deze radioactief gemerkte eiwitten via de vezels tussen de olijfkern en de kleine hersenen naar het cerebellum getransporteerd. Enkele dagen na de injectie is deze hele baan gemerkt, inclusief de dunste uitlopers, de klimvezelendigingen op de dendrieten van de Purkinje-cel.

De radioactiviteit in de cellen, vezels en eindigingen kan zichtbaar gemaakt worden met autoradiografie: dunne weefselplakjes worden bedekt met een laagje speciale fotografische emulsie. In deze emulsie ontstaat na verloop van tijd een latent beeld in de vorm van veranderde zilverbromide kristallen boven plaatsen waar in het weefsel radioactiviteit aanwezig



Boven: Een lichtmicroscopisch fluorescentieopname van anterograad gevulde klimvezels en mosvezels en van retrograad met Fast-Blue gevulde Purkinje-cellen (vergroting 250 x).

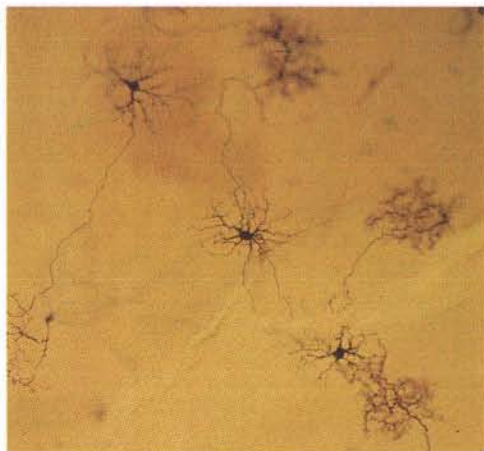
Rechtsboven: Een voorbeeld van dubbel gemerkte cellen, hier een cel gemerkt met Fast-Blue in het cytoplasma en Nuclear Yellow in de kern. Ook is een cel te zien met alleen een Nuclear Yellow gemerkte kern en een cel met enkel Fast Blue in het cytoplasma.

Geheel rechtsboven: Een transversale doorsnede van de voorkwab van het cerebellum, gezien in een lichtmicroscopische opname met gecombineerd donkerveld en interferentiecontrast. De gemerkte klimvezels zijn wit gestippeld, de omliggende cellen zijn in reliëf afgebeeld.

Rechts: Een lichtmicroscopische opname van een autoradiogram van de injectieplaats in de onderste olijfkern.

Geheel rechts: Horizontaalcellen uit het netvlies van de rat gekleurd volgens Golgi.





is. Een zichtbaar autoradiogram ontstaat als met een fotografische ontwikkelaar het latente beeld in een neerslag van zilverkorrels wordt omgezet. Dit geeft tegelijkertijd een van de nadelen van de anterograde autoradiografische tracing aan ten opzichte van de degeneratietechnieken: hebben we bij degeneratie te maken met echte, zij het veranderde vezels, bij de autoradiografie zien we als het ware alleen de voetafdrukken van de gemerkte vezels in de emulsie boven de coupe.

#### *Elektronenmicroscopische autoradiografie*

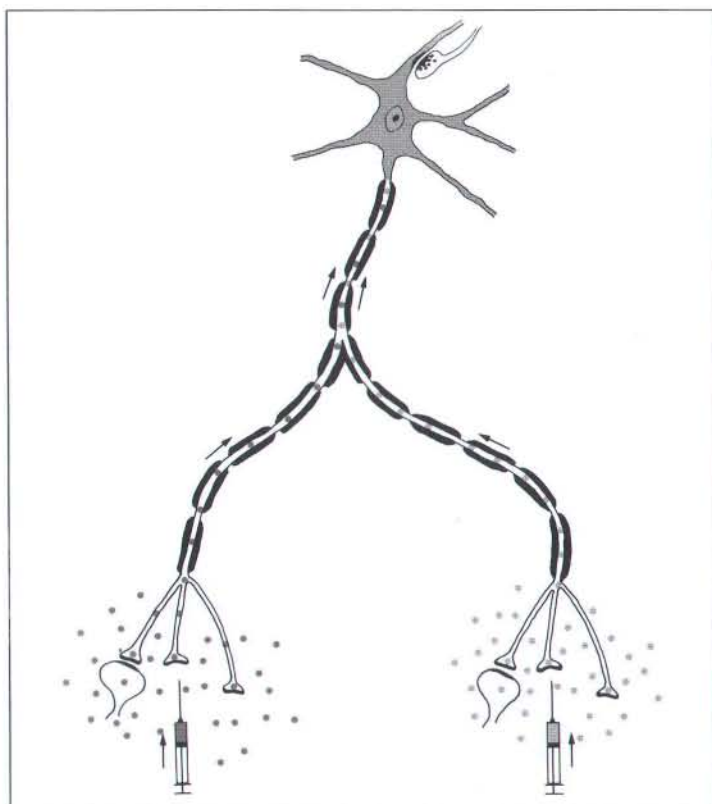
Met behulp van de elektronenmicroscop, gecombineerd met de anterograde autoradiografische tracing kunnen vezelverbindingen zeer gedetailleerd bestudeerd worden. In een elektronenmicroscopisch autoradiogram kan met zekerheid bepaald worden of alleen vezels of ook eindigingen gemerkt zijn en welk soort synaps er bij de eindigingen hoort. Na een injectie van getritieerd leucine in de onderste olijkern kan radioactiviteit worden aangetoond in de eindigingen in de centrale kernen van de kleine hersenen. Met alleen lichtmicroscopische autoradiografie is het niet duidelijk of na een injectie in de olijf, de radioactiviteit in de centrale kern, in passerende vezels of ook in eindigingen gelokaliseerd is.

#### **Retrograde technieken**

Het is sinds lang bekend dat een beschadiging van een zenuwvezel, behalve anterograde degeneratie, ook veranderingen te weeg kan brengen in het cellichaam zelf: retrograde degeneratie. De reactie van een zenuwcel op beschadiging van het axon is echter zeer variabel en de techniek van de retrograde degeneratie is dan ook met wisselend succes en slechts sporadisch toegepast. Retrograde technieken, met het doel de localisatie van cellen te bestuderen die naar een bepaald gebied in de hersenen projecteren, zijn sterk in de belangstelling gekomen sinds bekend is dat bepaalde stoffen door zenuwcellen retrograad getransporteerd kunnen worden. De meest gebruikte stof is het mierikswortelperoxydase (horseradish peroxidase : HRP).

#### *Mierikswortelperoxydase*

Het enzym HRP is een eiwitmolecuul met een molecuulgewicht van ongeveer 40 000.



Links: Fig. 11. Axonvertakkingen (collateralen) kunnen worden aangetoond met dubbelmerktechnieken met fluorescerende stoffen. Hiertoe worden twee verschillende fluorescerende stoffen op verschillende plaatsen ingespoten. Neuronen die collateralen naar deze gebieden hebben zullen in het cellichaam beide fluorescerende stoffen ophopen wat met fluorescentiemicroscopie te onderscheiden is.

Rechts: Fig. 12. Een schematisch overzicht van de kleine hersenen waarbij op grond van anatomische en fysiologische experimenten een bandenpatroon is ingetekend.

Een injectie van deze stof met een fijne naald in één van de centrale cerebellaire kernen resulteert in retrograad transport naar alle cellichamen die vezels zenden naar deze kern, o.a. Purkinje-cellen in de cerebellaire schors. Het HRP is zichtbaar te maken door het een substraat aan te bieden dat door de enzymatische werking van het HRP in het weefsel wordt neergeslagen. Dit neerslag is als een korrelig reactieproduct in de cellen te zien. Langzamerhand is duidelijk geworden dat HRP niet alleen retrograad maar ook anterograad getransporteerd wordt: vezels en eindigingen worden dus ook gekleurd.

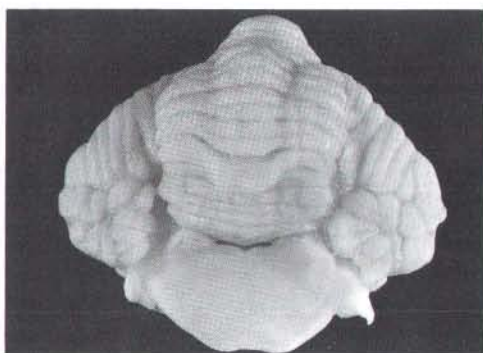
#### *Fluorescerende stoffen*

Op dit moment zijn behalve HRP vele andere stoffen bekend die retrograad in neuronen getransporteerd worden. De onderzoeksgroep van Kuypers aan de Erasmus Universiteit Rotterdam heeft recent een aantal retrograde merkstoffen beschreven die met fluorescentie-

microscopie zichtbaar te maken zijn. Een aantal van deze fluorescerende stoffen is zeer geschikt om te onderzoeken of een zenuwcel vertakkingen naar twee of meer verschillende gebieden in de hersenen stuurt (fig. 11). Hiertoe worden twee stoffen die in de fluorescentiemicroscopie eenvoudig van elkaar te onderscheiden zijn, op twee verschillende plaatsen in de hersenen ingespoten. Geven we bijv. een injectie van 'Fast Blue' in de voorkwab van de kleine hersenen en van 'Nuclear Yellow' in de achterkwab dan vinden we in de hersenstam in een aantal kerngebieden retrograad gemerkte cellen die beide stoffen bevatten. Dergelijke dubbelgemerkte cellen hebben een blauw fluorescerend cytoplasma (Fast Blue) en een geel fluorescerende kern (Nuclear Yellow). Neuronen die hun uitloper (of vertakking ervan) maar naar één van beide aangegeven gebieden zenden, bevatten slechts één van beide fluorescerende stoffen (zie de foto's op de vorige pagina's).

## Conclusies

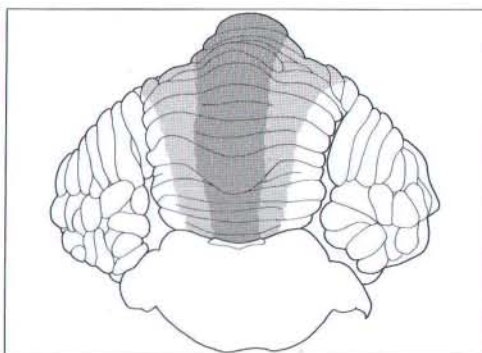
Vooral in de laatste twee decennia is met nieuwe neuroanatomische technieken de kennis van de bouw van de hersenen toegenomen. Met name de toepassing van anterograde en retrograde merktechnieken hebben aan deze kennis bijgedragen. Dit kan nogmaals aan de anatomie van de kleine hersenen geïllustreerd worden. Het uitwendige aspect van het cerebellum suggereert, door de verdeling in kwabjes en plooien een onderverdeling van deze structuur die dwars georiënteerd is op de



lengteas van de hersenen. Uit de resultaten van recent anatomisch en fysiologisch onderzoek komt echter naar voren dat de functionele anatomische eenheden van de kleine hersenen juist dwars op de macroscopisch herkenbare fissuren en folia staan. Injecteert men radioactief gemerkt leucine in een klein deel van de onderste olijfkern dan resulteert dit in een zeer karakteristieke verdeling van radioactiviteit in de cerebellaire schors. Radioactief gemerkte klimvezels worden gezien in een zeer nauwe, lang-

gerekte zone die in de lengteas van de hersenen van voor naar achteren over het cerebellum loopt. Een injectie van HRP in één van de centrale kernen laat een soortgelijke organisatie van retrograad gemerkte Purkinje-cellen in de cerebellaire organisatieschors zien.

Als de gegevens van verschillende experimenten bij elkaar genomen worden dan lijkt het dat we kunnen aannemen dat in het cerebellum een groot aantal verschillende langgerekte zones, die in de lengteas van de hersenen lopen, te onderscheiden zijn op grond van hun verbindingen (fig. 12). Fysiologische expe-



rimenten tonen aan dat deze anatomische eenheden waarschijnlijk ook als functionele eenheden bestaan. Hoewel er op anatomisch en fysiologisch niveau een gedetailleerde kennis bestaat van het cerebellum, zijn we nog ver af van een begrip van het functioneren van het cerebellum. Dit geldt evenzeer voor de meeste andere structuren van de hersenen en verder onderzoek is dan ook nodig om de tip van de sluier verder op te lichten en een verdere functionele 'inkleurings' mogelijk te maken.

## Literatuur

- Cowan, W. M. en M. Cuénod, (1975). *The use of axonal transport for studies of neuronal connectivity*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Brodal, A., (1981). *Neurological Anatomy; in relation to clinical medicine*. Third Edition, 1981, Oxford University Press, Oxford.
- Burton, M., (1981). *The illuminated brain*. New Scientist, Vol. 91, No. 1271, p. 738-741.

## Bronvermelding illustraties

- Lennart Nilsson/Ontdek de Mens, Uitgeverij Ploegsma, Amsterdam: pag. 538-539, 543.
- Wellcome Institute, London: pag. 540 boven, 545 onder, 546 onder, 547 boven.
- Brodal/Oxford University Press: pag. 553.
- Perry/University of Oxford: pag. 555.
- Müller/Interuniv. Oogheek. Inst., Amsterdam: pag. 539, 549.
- De overige illustraties zijn afkomstig van de auteurs.





# BOOGLASSEN VAN METALEN

Het met elkaar verbinden van metalen kan geschieden op diverse manieren. Het lassen, en in het bijzonder het booglassen, is in de afgelopen eeuw de meest toegepaste verbindingstechniek geworden. Zo wordt booglassen onder meer toegepast bij de bouw van schepen, auto's, bruggen, ketels, apparaten, machines en de aanleg van pijpleidingen. Ondanks de vele voordelen van deze techniek, blijken er ook enkele nadelen aan verbonden te zijn. Zo kunnen er spanningen en structuurveranderingen in en rondom de las ontstaan; voorts kunnen er in de las ongewenste gassen opgenomen worden die aanleiding kunnen geven tot verbrossing of scheurvorming. Deze effecten kunnen door optimale keuze van lasparameters beperkt worden. Ook ontstaan er tijdens het lassen warmte, schadelijke dampen en straling die elk maatregelen vereisen.

**G. den Ouden**

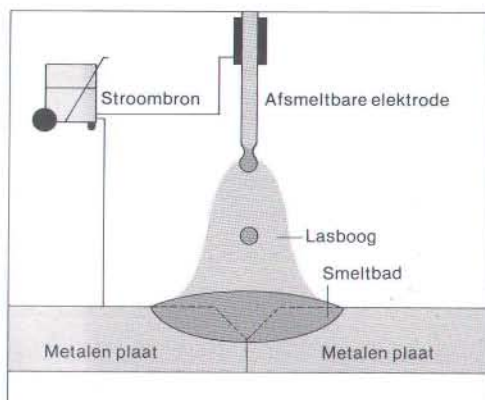
*Laboratorium voor Metaalkunde  
Technische Hogeschool Delft*

Er bestaan veel manieren om metalen met elkaar te verbinden. Klinken, solderen, lijmen en lassen zijn daarvan bekende voorbeelden. Van deze verbindingstechnieken is lassen de meest universele; lassen wordt dan ook op grote schaal toegepast in de metaalverwerkende industrie.

De eenvoudigste manier om twee metalen met elkaar te verbinden zou natuurlijk zijn de metalen op atomaire afstand van elkaar te brengen, dat wil zeggen de oppervlakken van de metalen zó dicht bij elkaar te brengen dat de atomen van beide oppervlakken in elkaars aantrekkingsfeer zouden komen. De elektronen kunnen dan oversteken (of beter gezegd: er kan elektronen-uitwisseling plaatsvinden) en er kan als gevolg hiervan een ideale verbinding ontstaan. Het oorspronkelijke scheidingsvlak is zelfs niet meer terug te vinden.

Helaas is een dergelijke gang van zaken in de praktijk nauwelijks te realiseren. In de eerste plaats zullen de twee oppervlakken nooit vlak genoeg zijn; in de tweede plaats zijn ze nooit voldoende schoon. Vandaar dat men naar andere wegen heeft gezocht.

Bij het lassen wordt gebruik gemaakt van warmte of druk, soms van een combinatie van beide. De warmte dient om het metaal plaatse-lijk tot smelten te brengen. Deze warmte kan geleverd worden door verschillende bronnen, zoals een autogene vlam, een laserstraal, een elektronenbundel en een elektrische boog. Van de vele lasprocessen die zijn ontwikkeld, speelt booglassen (met de elektrische boog als warmtebron) de belangrijkste rol. We zullen ons in dit artikel tot dit lasproces beperken.



Boven: De stroom die nodig is om de lasboog te onderhouden wordt meestal geleverd door een transformator. Deze levert een hoge stroom (enkele honderden ampères) bij een lage spanning (enkele tientallen volts).

Links: Fig. 1. Bij het booglassen levert een stroombron de benodigde energie om een lasboog te laten ontstaan en te onderhouden tussen een elektrode en het werkstuk. Door de hitte van de boog ontstaat een smeltbad waarin druppels gesmolten metaal van de elektrode vallen. Na afkoeling en stolling van het vloeibare metaal is een lasverbinding ontstaan.



### Principe van booglassen

Het principe van het booglassen wordt schematisch weergegeven in fig. 1. Stel we willen twee metalen platen met elkaar verbinden. De plaatkanten worden tegen elkaar aan geplaatst, terwijl boven de platen een afsmeltbare elektrode wordt opgesteld. De elektrode heeft gewoonlijk dezelfde samenstelling als het plaatmateriaal. Tussen de platen en de elektrode wordt nu een elektrische boog (de lasboog) ontstoken. De stroom die nodig is om deze boog te onderhouden wordt geleverd door een stroombron, bijv. een transformator of een ge-

lijkrichter. Door de warmte van de boog smelten de plaatkanten, waardoor een smeltbad ontstaat. Ook het onderste deel van de elektrode zal smelten en het gesmolten elektrode-materiaal zal via druppels in het smeltbad terecht komen. Door nu de elektrode langs de lasnaad te bewegen (de elektrode moet natuurlijk ook naar beneden bewogen worden om het afsmelten te compenseren) wordt de lasnaad met vloeibaar metaal gevuld. Het vloeibare metaal zal vervolgens afkoelen en stollen; aldus ontstaat tenslotte de gewenste lasverbinding.

### De lasboog

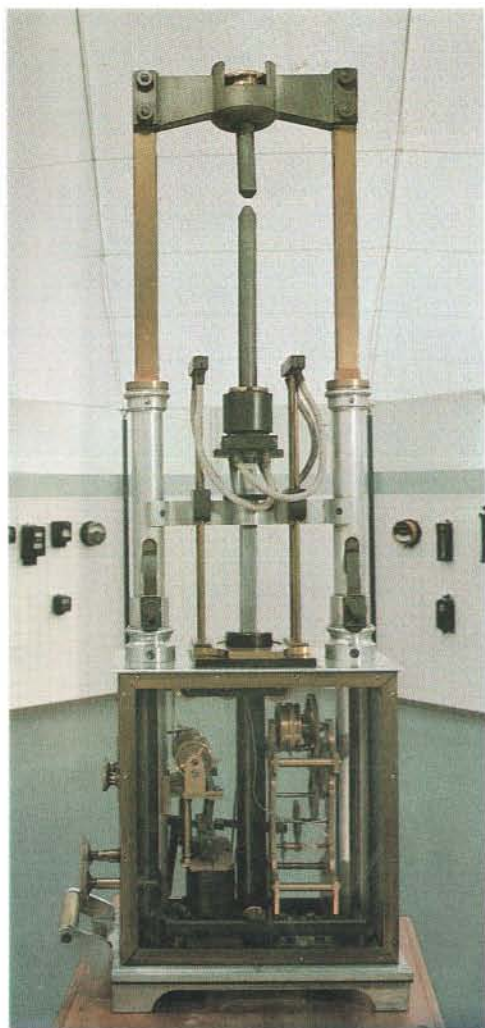
Tijdens het lasproces treden er een aantal verschijnselen op die bepalend zijn voor de eigenschappen van de uiteindelijke lasverbinding. De meeste van die verschijnselen blijken, direct of indirect, verband te houden met de warmtebron van het proces, de lasboog. Van daar dat we allereerst onze aandacht op de lasboog zullen richten.

### *Stroomgeleiding door gassen*

Geleiding van elektriciteit door gassen is een verschijnsel dat al heel lang bekend is. Het verschijnsel komt in een aantal verschillende vormen voor, die meestal worden aangeduid met de nogal misleidende verzamelnaam gasontladingen. Vonk en bliksem zijn lichtende voorbeelden die iedereen kent. Het zijn gasontladingen die maar heel kort bestaan, maximaal enkele milliseconden.

Een voorbeeld van een gasontlading, die langere tijd kan bestaan (in principe oneindig lang) is de boogontlading of elektrische boog, meestal kortweg boog genoemd. Eén van de meest wezenlijke kenmerken van de boog is zijn stroom-spanningskarakteristiek: er loopt een hoge stroom (enkele honderden ampères) bij een lage spanning (enkele tientallen volts). Om dit mogelijk te maken moet het gas waardoor de stroom loopt een hoge temperatuur hebben. Meestal is die temperatuur zó hoog dat zichtbaar licht wordt uitgestraald. Het bekende blauwachtige licht, waardoor de booglasser zich al op afstand verradert, is daar een goed voorbeeld van.

De stroom-spanningskarakteristiek van een boog met booglengte  $l$  is, samen met de stroom-spanningskarakteristiek van een



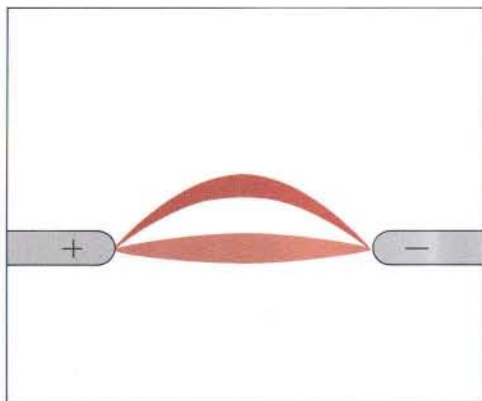
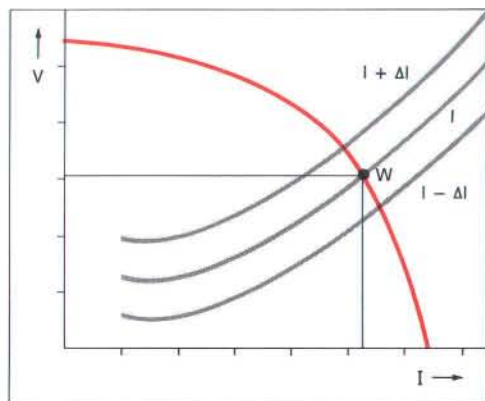
stroombron weergegeven in fig. 2. Het snijpunt van beide karakteristieken (het werkpunt) bepaalt de spanning en de stroom waarbij de boog brandt. Door verandering ( $\Delta I$ ) van de booglengte zal de boogkarakteristiek verschuiven. Hierdoor zal het werkpunt worden verplaatst en zal de boog bij een andere spanning en stroom gaan branden.

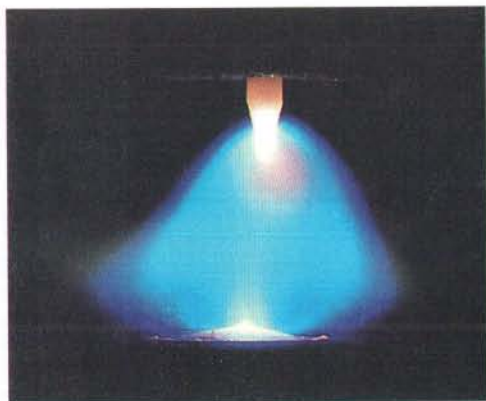
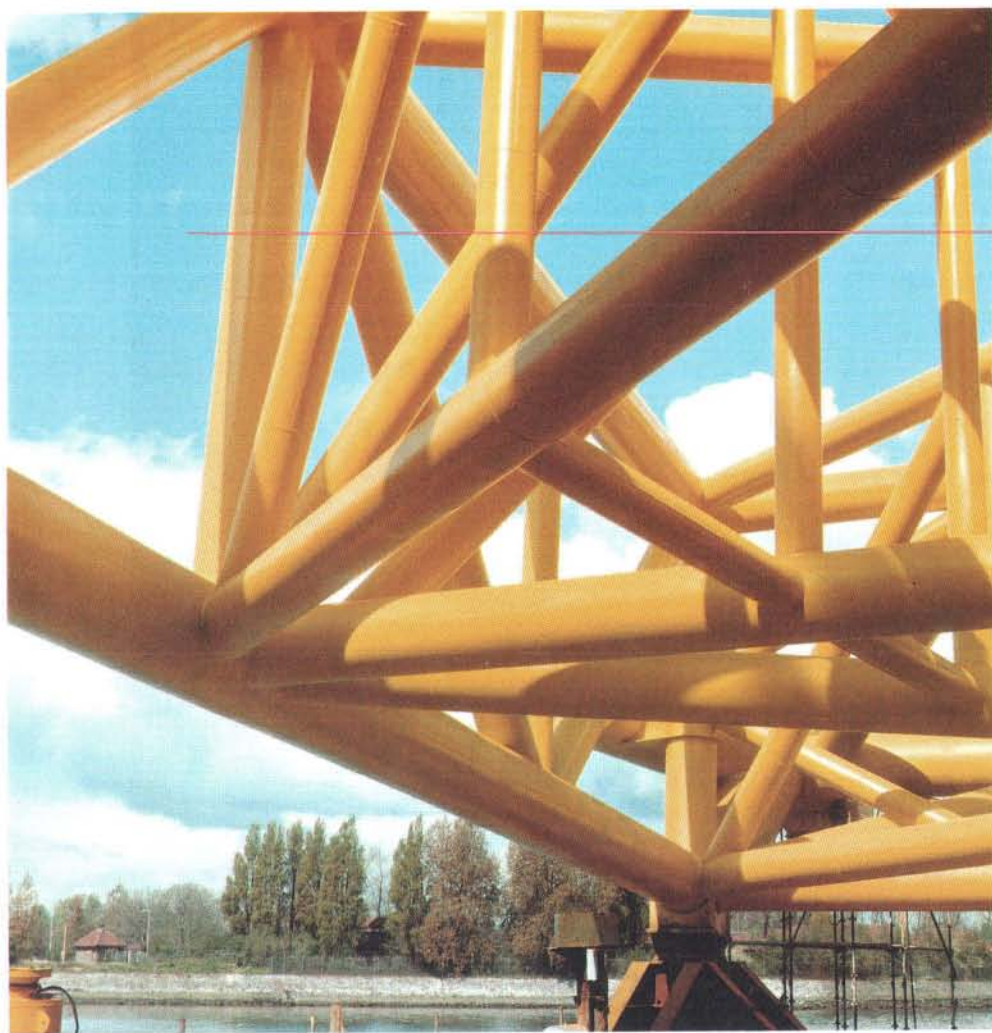
#### *What's in a name*

De boog ontleent zijn naam aan de vorm die door het hete gas wordt aangenomen bij horizontale stroomdoorgang, dat wil zeggen wanneer de elektroden horizontaal tegenover elkaar zijn geplaatst: door de kleinere dichtheid zal het hete gas de neiging hebben op te stijgen en dat resulteert dan in het aannemen van de boogvorm (zie fig. 3). Dit effect is alleen maar goed waar te nemen bij betrekkelijk grote afstand tussen de elektroden. In de praktijk is deze afstand echter klein, maximaal enkele centimeters. In dat geval blijft er meestal weinig van de boogvorm over en hebben we bijna altijd te maken met een klokvorm (zie de foto rechtsonder).

#### *Honderd jaar boog*

Het smelten van metalen met behulp van de boog is nauwelijks een noviteit te noemen. De Fransman Auguste de Méritens toonde al in 1881 met experimenten aan, dat lood zonder veel problemen met behulp van een boog tot smelten kan worden gebracht. Een tekening uit zijn oorspronkelijke octrooi-aanvraag is op de volgende pagina afgedrukt. Dat bij de experimenten van De Méritens lood werd gebruikt, is





Geheel linksboven: Een andere toepassing van de elektrische boog was de lamp van de vuurtoren de Brandaris op Terschelling. De boog, ontstoken tussen twee koolstofelektroden, zorgde voor intens licht.

Geheel links: Fig. 2. De stroom-spanningskarakteristiek van de boog (grijs) voor drie verschillende waarden van de booglengte / en van de stroombron (rood). Het snijpunt van de twee karakteristieken geeft de stroom en spanning aan waarbij de boog brandt.

Midden links: Fig. 3. Deze boogvorm bij horizontale stroomdoorgang ontstaat omdat het hete gas door de geringere dichtheid de neiging heeft op te stijgen.

Links: Een lasboog (klokvorm) in argon tussen een wolfram-elektrode en een ongelegeerde stalen plaat.

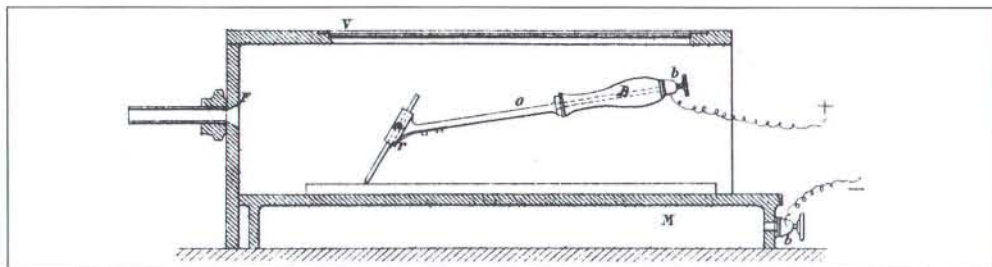
Boven: Een van de toepassingen van lassen is deze grote gelaste stalen constructie.

eigenlijk niet zo verwonderlijk wanneer we bedenken dat hij eigenaar was van een accufabriek. Lood was toevallig een tamelijk geschikte keuze, gezien het lage smeltpunt en het lage warmtegeleidingsvermogen. Met deze geslaagde experimenten kwam een ontwikkeling op gang die tot een zeer belangrijke technologie zou uitgroeien; aanvankelijk langzaam, sinds de Tweede Wereldoorlog in een versneld tempo. Het spreekt natuurlijk vanzelf dat tijdens die ontwikkeling niet alleen nieuwe mogelijkheden, maar ook problemen en beperkingen naar voren kwamen. Maar daarover straks meer, we zullen eerst proberen wat duidelijker aan te geven wáárom de boog zo geschikt is als warmtebron en dan speciaal voor het verwarmen en smelten van metalen.

### *De boog als warmtebron*

Om de geschiktheid van de boog als warmtebron wat beter te begrijpen, moeten we de boog verdelen in drie gebieden die elk zeer verschillende eigenschappen hebben (zie fig. 4). De achtergrond voor een dergelijke verdeling is het gegeven dat de elektrische spanning tussen de elektroden niet lineair verloopt (zoals bijv. tussen de platen van een condensator), maar heel dicht bij de twee elektroden een sprong vertoont.

De gebieden die grenzen aan de elektroden (waarbinnen deze potentiaalsprongen gelegen zijn), worden valgebieden genoemd. Tussen deze valgebieden in bevindt zich de zgn. boogzuil, die gekenmerkt wordt door een tamelijk klein, nagenoeg constant, spanningsverloop.



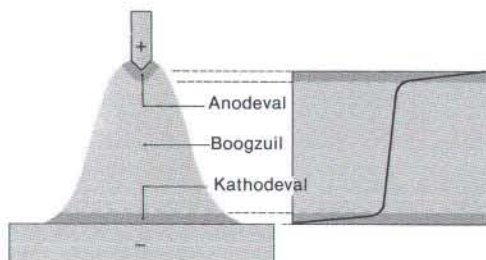
Aangezien de valgebieden zeer dun zijn (de dikte ervan ligt in de buurt van  $10^{-5}$  cm) wordt verreweg het grootste gedeelte van de boog genomen door de boogzuil. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de begrippen boog en boogzuil nogal eens worden verwisseld, overigens natuurlijk wel ten onrechte.

Het blijkt nu dat van de drie genoemde gebieden de eigenschappen van de boogzuil het gemakkelijkst te begrijpen en te beschrijven zijn. Dat heeft vooral te maken met het feit dat in de boogzuil (althans bij normale druk) bijna thermisch evenwicht heerst. Dat wil zeggen dat de verschillende deeltjes waaruit de boogzuil bestaat, zó veelvuldig met elkaar in botsing komen dat er sprake is van een bijna volledige energie-uitwisseling. Op grond hiervan kan

Links: Honderd jaar geleden, in 1881, vond Auguste de Méritens al dat het mogelijk is om lood met een elektrische boog te smelten. Deze tekening is afkomstig uit zijn oorspronkelijke octrooi-aanvraag.

Linksonder: Het plasmalassen is een van de varianten van booglassen. Bij het lassen van deze tank wordt gebruik gemaakt van aluminium, dat door de boogzuil (plasma) wordt gesmolten.

Onder: Fig. 4. Het verloop van de spanning in een elektrische boog is niet lineair, maar vertoont nabij de elektroden een sprong.



dan ook met recht gesproken worden van de temperatuur van de boogzuil. Deze temperatuur is een heel belangrijke grootheid, die het gedrag en de eigenschappen van de boogzuil volledig bepaalt.

Men kan zich de gang van zaken in de boogzuil ongeveer als volgt voorstellen. Vanwege de hoge temperatuur zal een deel van het gas geïoniseerd zijn. Anders gezegd: een deel van de atomen of moleculen zal gesplitst zijn in elektronen en positieve ionen, waarbij de mate

waarin dat het geval is wordt bepaald door de temperatuur. De elektrisch geladen deeltjes zullen zich nu onder invloed van het elektrisch veld in beweging zetten: de elektronen naar de pluspool, de positieve ionen naar de minpool. Op deze manier leveren zij elk hun bijdrage tot de totale elektrische stroom, waarbij het aandeel van de elektronen door hun geringe massa verreweg het grootst is.

Onderweg naar hun eindbestemming zullen zowel de elektronen als de ionen herhaaldelijk in botsing komen met andere deeltjes van het gas. Door deze botsingen wordt de energie, die de geladen deeltjes uit het elektrisch veld opnemen, nagenoeg gelijk over het gas verdeeld. De temperatuur zal zich nu zodanig instellen dat de elektrische energie die per tijdseenheid in de boogzuil wordt geproduceerd, gelijk is aan de energie die per tijdseenheid uit de boogzuil verdwijnt, bijv. door middel van warmtegeleiding, straling of gasstroming. De zo bereikte evenwichtstemperatuur ligt in de meeste gevallen tussen de 5 000 en 25 000 K.

Het ligt nu voor de hand te verwachten dat het vooral de boogzuil met zijn hoge temperatuur is, die de boog zo geschikt maakt als warmtebron. Inderdaad wordt bij een aantal toepassingen dankbaar van die hoge temperatuur gebruik gemaakt. Het plasmaspuiten, waarbij poeder of draad door de boogzuil (het plasma) wordt gesmolten en vervolgens op het substraat wordt gespoten, is daar een goed voorbeeld van. Bij dit soort toepassingen gaat het om 'indirecte' verwarming, namelijk verwarming van materiaal dat niet als elektrode dienst doet.

Bij het booglassen ligt de zaak wezenlijk anders; het gaat dan om 'directe' verwarming, dat wil zeggen verwarming van enerzijds de elektrode, anderzijds het werkstuk. In dit geval blijkt de boogzuil een tamelijk ondergeschikte rol te spelen en zijn vooral de valgebieden van belang. Dit heeft natuurlijk te maken met het eerder genoemde niet-lineaire spanningsverloop in de boog. Hierdoor wordt de geproduceerde warmte niet eerlijk over de boog verdeeld, maar komt een onevenredig deel ervan direct ten goede aan elektrode en werkstuk. Uiteraard levert de boogzuil (door middel van warmtegeleiding, straling en gasstroming) ook wel een bijdrage tot de verhoging, maar deze bijdrage blijkt uiteindelijk toch relatief klein te

zijn. Ruw geschat komt van de totale hoeveelheid elektrische energie, die als warmte in de boog wordt geproduceerd, 80 procent in elektrode en werkstuk terecht. Hiervan is meer dan driekwart afkomstig uit de valgebieden, de rest komt uit de boogzuil. Daarmee is dan duidelijk aangegeven dat de boog een warmtebron is die bij uitstek geschikt is voor het lassen.

### Varianten van het booglasproces

In de praktijk wordt het booglasproces op verschillende manieren toegepast, afhankelijk van de omstandigheden. De oudste en (nog steeds) meest toegepaste variant is het *handlassen*. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een beklede elektrode, bestaande uit een metalen kern, waaromheen een chemische substantie is aangebracht (zie de foto hiernaast). Deze substantie is samengesteld uit een aantal verschillende stoffen (vooral metalen en mineralen), die alle een specifieke functie hebben. Om er een paar te noemen: productie van slak en gas om het vloeibare metaal tijdens het lassen tegen invloeden uit de omgeving te beschermen, stabiliseren van de boog, legeren van het vloeibare metaal en verhogen van het afsmeltrendement.

Belangrijke voordelen van het handlassen zijn de grote flexibiliteit en het brede toepassingsgebied; voor de meest uiteenlopende omstandigheden zijn beklede elektroden ontwikkeld. Daartegenover staat het nadeel dat handlassen een tamelijk arbeidsintensief proces is: de elektrode is betrekkelijk kort en moet dus vaak worden verwisseld.

Veel minder arbeidsintensief wordt het proces bij het gebruik van een 'continue elektrode'. Dit is het geval bij het *gasbooglassen*, waarbij een continu toegevoerde massieve draad of gevulde draad als afsmeltbare elektrode dienst doet. Door middel van gassen, meestal argon of CO<sub>2</sub>, worden de boog en het smeltbad van de omringende lucht afgeschermd. Gasbooglassen is een proces dat zich goed leent voor automatisering. Het is dan ook te verwachten dat dit proces het handlassen meer en meer zal verdringen.

Bij het *onderpoederdek-lassen* wordt ook een continu toegevoerde draad (of band) als elektrode gebruikt. De boog en het smeltbad worden hier echter beschermd door middel van poeder, dat naast de beschermende werking



Boven: Het handlassen is de oudste en de meest toegepaste variant van het booglasproces. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een afsmeltbare elektrode die opgebouwd is uit een metalen kern met daaromheen een chemische substantie. Deze substantie dient onder meer om het vloeibare metaal tijdens het lassen tegen invloeden uit de omgeving te beschermen, de boog te stabiliseren, het vloeibare metaal te legeren en het afsmeltrendement te verhogen.

Rechtsboven: Het TIG-lassen is een methode waarbij de elektrode (wolfram) niet smelt, maar alleen het werkstuk tot smelten wordt gebracht. De boog en het smeltbad worden door gassen (argon of helium) beschermd, terwijl toevoegmateriaal apart kan worden toegevoerd.

Rechts: Bij het gasbooglassen bestaat de elektrode uit een continu toegevoerde massieve of gevulde draad. De boog en het smeltbad worden door bijv. argon of CO<sub>2</sub> van de omgeving afgeschermd.



ook nog andere functies kan hebben, vergelijkbaar met die van de elektrode-bekleding bij het handlassen.

Bij de genoemde voorbeelden was steeds sprake van een afsmeltende elektrode. Er zijn echter ook varianten van het booglasproces waarbij de elektrode niet smelt en dus alleen het werkstuk tot smelten wordt gebracht. Bekend zijn het *TIG* (tungsten inert gas)-lassen en het *plasmalassen*. In deze gevallen wordt gebruik gemaakt van een elektrode die bestaat uit een hoogsmeltend metaal, (meestal wolfram), terwijl boog en smeltbad door middel van een inert gas (meestal argon of helium) van de omgeving worden afgeschermd. Toevoegmateriaal kan desgewenst apart worden toegevoerd.

## Toepassingen

Het booglasproces wordt, in zijn verschillende varianten, op grote schaal toegepast in nagenoeg alle takken van de metaalverwerkende industrie. Ter illustratie een getal: naar schatting wordt in de Benelux per jaar 90 000 ton metaal gesmolten met behulp van de lasboog - dat is meer dan 240 ton per dag; bijna de helft daarvan is toevoegmateriaal.

Booglassen speelt een essentiële rol bij de bouw van schepen, bruggen, viaducten, centrales en offshore-installaties; bij de aanleg van pijpleidingen; in de automobiellindustrie; in de apparaten- en machinebouw en bij de vervaardiging van veel voorwerpen die we in het dagelijks leven gebruiken. We kunnen dus rustig zeggen dat het booglasproces een verbindings-techniek is, die moeilijk weg te denken is uit onze samenleving.

Een heel bijzondere toepassing is het booglassen onder water. Hierbij brandt de boog in een gasbel die geheel door water is omgeven. Een gevaar bij het onder water lassen is het binnendringen van waterdamp in de boog. Deze waterdamp zal bij de hoge temperatuur van de boog dissociëren en de geproduceerde waterstof zal gemakkelijk in het metaal worden opgenomen, hetgeen scheurvorming ten gevolge kan hebben. Door een juiste keuze van toevoegmateriaal en lasprocedure kan scheurvorming echter veelal worden voorkomen. Booglassen onder water wordt vooral toegepast bij de reparatie van schepen en onderwaterconstructies (zie de foto hieronder).

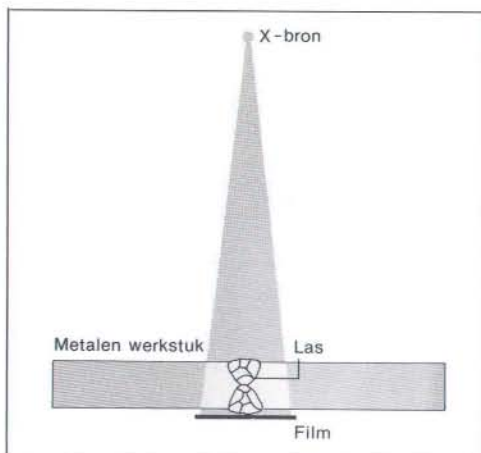
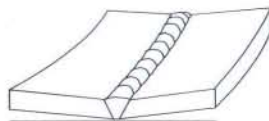


Fig. 5. Met behulp van radiografie kan men eventuele lasfouten (bijv. slakinsluitels, gasporiën, scheuren) opsporen. Het werkstuk wordt doorstraald met röntgen- of gammastralen en een eventuele fout (dus een zwakke plek) zal zichtbaar worden door een afwijkende zwarting op een fotografische film.

Aan lasverbindingen worden in het algemeen hoge eisen gesteld. Deze eisen hebben niet alleen betrekking op het uiterlijk van de las, maar ook en vooral op de eigenschappen van de verbinding, zoals mechanische sterkte, taaiheid, weerstand tegen corrosie en tegen slijtage. Deze eigenschappen worden grotendeels bepaald door de chemische samenstelling en de warmte-cyclus die het materiaal tijdens het lassen heeft doorlopen. Daarnaast hebben lasfouten (slakinsluitels, gasporiën, scheuren enz.)



Links: Het booglassen onder water vereist speciale maatregelen om de boog en het smeltbad te beschermen, omdat door de hoge temperatuur van de boog water gemakkelijk dissocieert. De daarbij geproduceerde waterstof kan in het metaal worden opgenomen, waardoor scheuren in de las kunnen optreden.

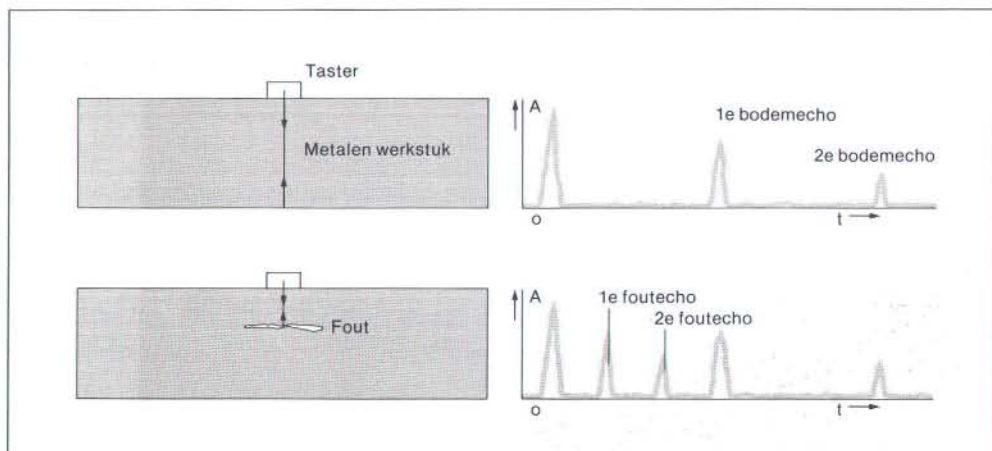
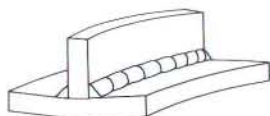


Fig. 6. Bij het ultrasoon onderzoek van lassen wordt een onhoorbare geluidspuls door het te onderzoeken werkstuk gestuurd. Door middel van een taster worden de teruggekaatste geluidsgolven geregistreerd. Een lasfout zal zich verraden door een afwijkend terugkaatsingspatroon.

meestal ook een duidelijke invloed op de gebruikseigenschappen, in de regel een ongunstige. Het is daarom van groot belang het optreden van lasfouten zo veel mogelijk te voorkomen. In veel gevallen worden constructies voordat zij in gebruik gesteld worden nauwkeurig op lasfouten gecontroleerd. Dit gebeurt dan meestal met behulp van niet-destructief onderzoek (NDO). De meest toegepaste NDO-technieken zijn radiografie en ultrasoon onderzoek (zie fig. 5 en 6).



Linksboven en boven: Fig. 7. Bij het booglassen kunnen ondermeer spanningen in en rondom de las ontstaan. Deze twee vormveranderingen zijn opgetreden in het geval van vrije oplegging, dat wil zeggen zonder inklemming. Linksboven een V-lasverbinding en hierboven een dubbele hoeklas.

## Probleemgebieden

De belangrijkste problemen die zich bij het booglassen kunnen voordoen zijn: het optreden van spanningen in en rondom de lasverbinding; het ontstaan van structuurveranderingen; de opname van ongewenste gassen; de productie van warmte, straling en rook (milieuprobleem).

### Spanningen

Bij het booglassen doorloopt het metaal een temperatuur-cyclus waarbij het plaatselijk smelt. Tijdens het stollen en verdere afkoelen zullen er krimpverschijnselen optreden, die vormveranderingen teweegbrengen (zie fig. 7) en daarnaast tot zgn. residuele spanningen leiden. Residuele spanningen spelen vooral een belangrijke rol, wanneer vormveranderingen niet of nauwelijks mogelijk zijn, hetgeen bij verreweg de meeste constructies het geval is.

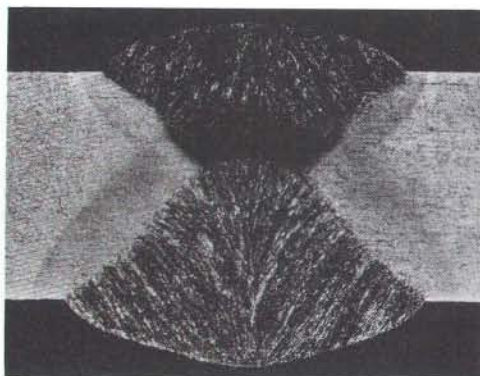
Residuele spanningen zijn zeer verraderlijk, omdat de aanwezigheid ervan meestal moeilijk is vast te stellen. Zij kunnen, vooral in combinatie met andere factoren, ernstige problemen opleveren. De krimp tot een minimum te beperken (dat wil zeggen goed ontwerpen en een optimale keuze van de lasprocedure) is daarom van het allergrootste belang. Toch is in vele ge-



Boven: Stukken buis worden aaneengelast en vormen op die manier een pijpleiding, die in lengte kan variëren van enkele tientallen meters tot vele duizenden kilometers. De lassen worden onderzocht op fouten met behulp van NDO-technieken.

Rechtsboven: Twee voorbeelden van een las in een roestvrij stalen pijp: links handgelast, TIG/MIG en rechts automatisch gelast, pulserend MIG.

Rechts: Doorsneden van twee lasverbindingen die uit twee lagen zijn opgebouwd. De drie gebieden zijn duidelijk te zien: het lasmetaal, de zgn. warmte-beïnvloede zone en het onbeïnvloede metaal. Vergroting ca. 3x.



vallen, ook al is er op het ontwerp en de lasprocedure niets aan te merken, een (thermische of mechanische) nabehandeling gewenst om de residuele spanningen te verminderen.

#### *De structuur van de lasverbinding*

Verwarmen van een metaal zal in het algemeen gesproken een verandering van de structuur en daarmee een verandering van de eigenschappen ten gevolge hebben. In de praktijk wordt hiervan veelvuldig gebruik gemaakt door het toepassen van bepaalde warmtebehandelingen. Daarmee wordt dan bereikt dat het metaal dié structuur en dié eigenschappen krijgt die men wenst. Bij het booglassen kunnen we ook spreken van een warmtebehandeling, maar dan een warmtebehandeling die

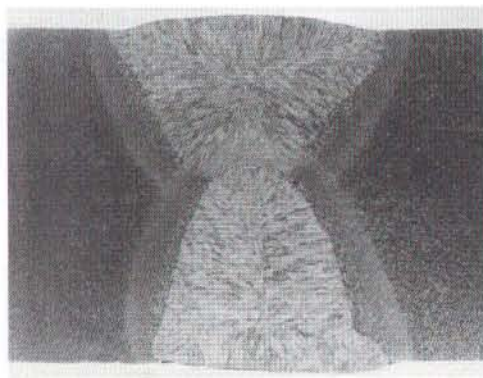
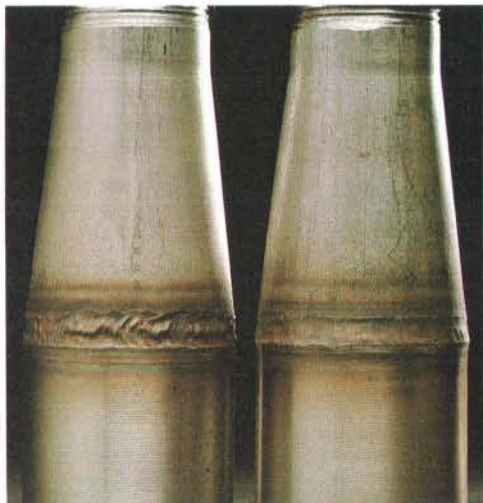
niet als zodanig is bedoeld en eigenlijk meer gezien moet worden als een noodzakelijk kwaad.

Als we de doorsnede van een lasverbinding nauwkeurig bekijken (bijv. onder een microscoop) blijkt dat we onderscheid kunnen maken tussen drie gebieden: in de eerste plaats het lasmetaal zelf, metaal dat gesmolten is geweest en daarna weer is gestold; dan de zgn. warmte-beïnvloede zone, het metaal dat niet gesmolten maar wél boven een bepaalde kritische temperatuur verwarmd is geweest en daardoor een structuurverandering heeft ondergaan; en tenslotte natuurlijk het onbeïnvloede 'moeder-materiaal'.

Deze driedeling geldt eigenlijk alleen voor een enkelvoudige lasverbinding. Wanneer de verbinding uit meer lagen is opgebouwd (en dat is meestal het geval), wordt de situatie ingewikkelder. We hebben dan óók te maken met zones die het gevolg zijn van de onderlinge beïnvloeding van de verschillende lagen. Op de foto's linksonder zijn twee doorsneden van lasverbindingen afgebeeld die zijn opgebouwd uit twee lagen.

Het lasmetaal wordt gekenmerkt door een zgn. gietstructuur, bestaande uit stengelvormige kristallen, die een heel specifieke richting en oriëntatie hebben ten opzichte van de voortlooprichting van de boog. Als we wat nauwkeuriger kijken dan blijkt er binnen de stengels meestal ook nog een substructuur op te treden. Welke structuur en substructuur er ontstaan, hangt af van een aantal factoren, vooral van de manier waarop is afgekoeld.

Zoals de naam al aangeeft, ontkomt ook de warmte-beïnvloede zone niet aan de invloed van de boog. Hier speelt naast de afkoelsnelheid ook de ter plaatse bereikte temperatuur een rol. Afhankelijk hiervan en de chemische samenstelling van het materiaal kunnen er in deze zone een aantal verschillende structuurveranderingen plaatsvinden. Een bekend voorbeeld is korrelgroei. Dit verschijnsel treedt op, indien en zolang de temperatuur van het metaal zich boven een bepaalde kritische waarde bevindt. De grootste kristallen zullen we dus vinden langs de smeltlijn, dat wil zeggen langs de grens met het lasmetaal. Andere voorbeelden zijn de vorming van hardingsstructuren (martensiet, bainiet) in ongelegeerd en laaggelegeerd staal, en het oplossen van precipitaten in precipitatie-geharde aluminiumlegeringen.





De meeste structuurveranderingen die ontstaan ten gevolge van het lassen hebben een ongunstige invloed op het mechanisch gedrag van de lasverbinding. Het probleem is nu om die invloed tot een minimum te beperken. In vele gevallen lukt dat door een geschikte keuze van de lasparameters (stroom, spanning, voortloopsnelheid enz.) en het toevoegmateriaal. Soms moet gebruik worden gemaakt van voorverwarmen of van een warmtebehandeling achteraf.

#### *Opname van gassen*

Zoals al eerder werd opgemerkt is het van groot belang om tijdens het booglassen het vloeibare metaal van de omringende lucht af te schermen. In de praktijk gebeurt dit meestal met behulp van slak en/of gassen. Zijn de beschermende maatregelen onvoldoende, dan kunnen zuurstof, stikstof en waterstof uit de omgeving in het lasmetaal worden opgenomen. Deze gassen hebben namelijk in het algemeen

een relatief hoge oplosbaarheid in vloeibare metalen; bovendien is gebleken dat de oplosbaarheid door de aanwezigheid van de boog nog eens extra wordt verhoogd.

Tijdens het stollen zal er, in verband met de abrupte verlaging van de oplosbaarheid bij het smeltpunt, wel een groot deel van het opgenomen gas worden uitgestoten, maar door de grote afkoelsnelheid zal er meestal toch een betrekkelijk grote hoeveelheid in het metaal worden 'ingevroren'.

Het is bekend dat genoemde gassen de mechanische eigenschappen van metalen in ongunstige zin beïnvloeden. Vooral het gevaar dat het metaal bros wordt, is groot. Daarnaast kan gasopname leiden tot de vorming van poriën of scheuren. Voor het optreden van waterstofscheuren bij het lassen van constructiestaal (zie de foto rechtsboven) is men bijvoorbeeld in de praktijk erg bevreesd. Het zal duidelijk zijn dat zulke scheuren grote moeilijkheden kunnen veroorzaken.



Linksboven: Bij het lassen van deze grote pijp legt een lasser eerst een las aan de buitenkant waarna een tweede lasser aan de binnenkant een tegenlas legt. Op deze manier hoeft de lasser niet telkens om te lopen en onnodig met apparatuur te sjouwen.

Boven: Het opnemen van gassen kan leiden tot de vorming van poriën of scheuren. Hier een waterstofscheur in de warmte-beïnvloede zone van een las. Vergroting 300 x.

### Milieu-aspecten

Een probleem van geheel andere aard is het milieuprobleem dat met booglassen samenhangt. Een van de aspecten is de warmte die tijdens het lassen in de directe omgeving vrijkomt. Deze warmte kan erg onaangenaam zijn voor de lasser, vooral wanneer hij in een beperkte ruimte moet werken.

Daarnaast produceert de lasboog zeer intensieve (zichtbare en onzichtbare) straling. Ook deze kan zeer hinderlijk zijn, zelfs op grotere afstand. Lassers (maar ook omstanders) moeten dan ook bijna altijd gebruik maken van oogbeschermende middelen, zoals een laskap of een lasbril.

Tenslotte is er de rook die bij het lassen vrijkomt. Deze lasrook bestaat grotendeels uit metaaloxiden. Men neemt aan dat deze een schadelijke invloed hebben op de gezondheid. Een goede afzuiging bij het booglassen is daarom van vitaal belang.

### Slotopmerking

In het voorgaande is een beeld geschetst van de bestaande mogelijkheden en van enkele problemen die kunnen optreden bij het booglassen van metalen. Het boogglasproces is een proces dat een sterke ontwikkeling heeft doorgemaakt en dat, met vallen en opstaan, is uitgegroeid tot een onmisbaar onderdeel van de metaalverwerkende industrie.

Verwacht mag worden dat het proces zich in de toekomst nog verder zal ontwikkelen en dat het toepassingsgebied zich nog verder zal uitbreiden. In welke mate dit het geval zal zijn, zal vooral afhangen van de wijze waarop de hierboven gesignaleerde problemen tot een oplossing kunnen worden gebracht.

### Literatuur

- Lastechniek*, (1979). Cursusboek behorende bij de Teleac-cursus, Stichting Teleac, Utrecht.  
*Welding Handbook*, (1976). American Welding Society, Miami.  
 Lancaster, J. F., (1980). *Metallurgy of Welding*. George Allen & Unwin Ltd., London.  
 Vink, W. J. P., Versluis, N. H. R., (1980). *Niet-destructief onderzoek*. Delftse Uitgevers Maatschappij, Delft.

### Bronvermelding illustraties

- Fotopersbureau Paul Mellaart B.V., Maastricht (m.m.v. Staalbouw Eysden bv, Eijsden): pag. 558-559, 571 boven.  
 TH Delft: pag. 560, 562 onder, 563 onder, 565, 568, 569, 570-571 onder, 573.  
 ESAB/Varios B.V., Weesp: pag. 560-561, 566.  
 Fotografie Igno Cuypers, Amsterdam: pag. 562 boven.  
 De Rotterdamsche Droogdok Mij/Rijn Schelde Verolme NV, Rotterdam: pag. 563 boven.  
 Octrooiraad, Rijswijk: pag. 564 boven.  
 Philips Welding Industries B.V., Utrecht: pag. 564 onder, 567 boven, 570 boven.  
 AGA Gas BV, Amsterdam: pag. 567 onder.  
 Smitweld, Nijmegen: pag. 572.

# ACTUEEL

Nieuws uit wetenschap, technologie en samenleving  
natuur en techniek

## Chemieonderwijs en maatschappij

Chemie is overal. Of moeten we zeggen loert overal? Wordt chemie vooral geassocieerd met kwade of juist ook met de goede verworvenheden? "Waarom misverstanden over chemie?" is van de inleidingen die gehouden zullen worden op het KNCV-congres te Apeldoorn op 24 en 25 september 1982. Het zal de bijdrage zijn van de docenten Chemie en Samenleving dr. Arie Rip en dr. Wessel Slot aan de sessie 'Chemie in de Maatschappij' op het door de Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging te organiseren congres. Het thema van dit congres is 'Chemieonderwijs en Maatschappij'.

Nieuwe vormen van onderwijs worden ontwikkeld. Ook het scheikundeonderwijs is in beweging. Sinds 1970 is het bijvoorbeeld in Groot Brittannië mogelijk om aan de 'Open University' thuis scheikunde te studeren. Professor L.J. Haynes van die Britse Open Universiteit zal daarover in een plenaire lezing vertellen. Ter illustratie zullen tekstboeken, videoprogramma's en een 'home kit' voor thuis-experimenteren tijdens het congres worden tentoongesteld. Met recht een actueel onderwerp voor dit congres, nu in Heerlen de opbouw van de Nederlandse Open Universiteit van start is gegaan.

Ook in Nederland is het chemieonderwijs in beweging. In de middagssessies op zaterdag 25 september zullen die ontwikkelingen en toekomstvisies aan de orde komen. Hiertoe behoort de hierboven al genoemde sessie 'Chemie in de

Maatschappij'. Paralelle sessies zullen handelen over aansluitingsproblemen en over de herstructureringen in het chemisch wetenschappelijk en beroepsonderwijs.

De eerste middag van het congres, vrijdag 24 september, zal helemaal gewijd zijn aan 'Stand van de Wetenschap'-bijdragen. Deze 'State of the Art'-sessies zullen door de wetenschappelijke secties in de KNCV worden georganiseerd. De bedoeling is om andere onderzoekers en docenten te informeren over de recente ontwikkelin-

gen in researchgebieden waarmee zij uit eigen ervaring niet te maken hebben. Vele sprekers uit een negental KNCV-secties zullen aan deze 'Stand van de Wetenschap'-sessies bijdragen. Hier slechts een drietal als voorbeeld: 'Vaste stof in beweging', prof. dr. R. Metselaar (Anorg. en Fysische chemie); 'Chiraliteit en synthese', prof. dr. H. Wijnberg (Organische chemie); 'Nieuwe ontwikkelingen in de wetenschap van de kristalgroei' plus demonstratie, prof. dr. P. Benne-  
ma (contactgroep Kristalgroei).

Het volledige programma en deelnameformulieren zijn aan te vragen bij het KNCV-bureau, tel. 070-469406, postbus 90613, 2509 LP 's-Gravenhage.

## Hitchcock's 'birds' werkelijkheid

George Wall, een boer nabij Dryden in het noordwesten van Ontario, heeft gezien dat een raaf op de kop van een koe landde, haar ogen uitpikte waardoor het dier ging liggen, de rest van een vlucht raven (zo'n 150 stuks) ook neerstreek en stukken uit het beest pikten. Dit is, naar hij zegt, niet het enige geval, hij heeft al zes dieren op deze manier verloren.

Eerst dacht men aan een incidenteel geval, maar vorig najaar werd er in Kenova, op zo'n 100 km afstand, ook vee door raven aangevallen. Volgens Alex Middleton, een ornitholoog van de University of Guelph, kunnen de vogels het doden geleerd hebben van het afvreten van de kadavers van muizen of herten. Hij zegt verder dat ra-

ven vrij slim zijn en dat wanneer zij de smaak van ogen te pakken hebben en deze ervaren hebben als voedselbron, deze 'wijsheid' snel in de groep en ook daarbuiten verbreid raakt.

Raven zijn in Canada beschermde vogels, zodat overbevolking geleid kan hebben tot voedseldruk, dit als gevolg hebbende. Intussen tracht men door knallen en het geluid van angstige vogels de raven weg te houden, echter tot nu toe zonder resultaat. Vanwege het gevaar voor andere dieren, ziet men ook niets in het strooien van vergif en meer geavanceerde methoden kosten een hoop geld. Intussen gaan de aanvallen door.

(New Scientist)

## Lucy's oudere broer

Bij de rivier de Awash in Ethiopië heeft het team van Desmond Clark van de University of California te Berkeley een gedeelte van een dijbeen en schedelresten gevonden in een laag vulkanische as die gedateerd is op 4 miljoen plusminus 100 000 jaar. De resten lijken zeer op die van Lucy, het opmerkelijk complete skelet van de *Australopithecus afarensis*, die gevonden werd op ca. 70 kilometer afstand en gedateerd werd op 3,75 miljoen jaar oud.

Het wezen had een iets kleinere herseninhoud dan de huidige chim-

pansee, zo is gebleken, was 135 cm lang en liep rechtop. Hieruit blijkt weer eens dat onze voorlopers eerder rechtop liepen dan dat het hersenvolume toenam.

Deze vondst zal zeker weer genoeg stof doen opwaaien om het soms felle debat tussen Richard Leakey en Donald Johanson weer te openen. Johanson ziet Lucy als een voorloper van de moderne mens. Leakey is het daar niet mee eens en denkt dat *Homo* eerder rechtop liep dan *A. afarensis*, en Lucy niets meer dan een zijtak is. Tim White, die met Johanson

werkte bij Lucy en met Clark op deze expeditie was, wijst erop dat op deze vindplaats geen enkele resten van het type *Homo* waar Leakey van spreekt zijn gevonden.

Omdat de vindplaats nog lang niet verder geëxploreerd is, zullen Clark en White dit najaar terugkeren om naar resten te zoeken van de laatste gemeenschappelijke voorouder van de mens en de Afrikaanse apen. Volgens biochemische proeven zouden de chimpansee, gorilla en de mens ca. 4,5 miljoen jaar geleden uit elkaar gegaan zijn en de Awash-rivier zou goed de bewijzen kunnen leveren hoe de veranderingen plaatsvonden.

(New Scientist)



De zonnecentrale Almeria in Zuid-Spanje met rondom de collector op de toren de grote spiegels (heliostaten) die het zonlicht op de collector moeten bundelen.

## Spaanse zon gevangen

De 500 kW experimentele zonnecentrale installatie bij Almeria in Zuid-Spanje heeft de proefperiode goed doorstaan. Het systeem bestaat uit 93 grote spiegels (heliostaten) die het opgevangen zonlicht bundelen op een centrale collector. Hierin wordt natrium verhit, de warmte uitgewisseld via een warmtewisselaar, waarachter een stoomturbine zorgt voor de opwekking van elektriciteit. De collector heeft een hoogte van 43 meter en is het heetste punt van de installatie, 270°C bij de ingang en 530°C aan de uitgang. De thermische opbrengst is 2,7 MW bij een natriumstroom van 7,3 kg per seconde.

Na uitgebreide proeven is gebleken dat het rendement ingestraal-

de zonne-energie/thermische opbrengst tussen de 80 en 90 procent lag. De hoeveelheid ingestraalde zonne-energie werd zowel direct bij de ingang van de collector gemeten als met een systeem op grondniveau via een teruggekaatste bundel.

Verder is gebleken dat alle onderdelen goed werkten, zowel de heliostaten die het zonlicht op de collector gericht moeten houden, als de twee warmtetransportsystemen en de stoomturbine met generator. Alleen zal een langere periode moeten uitwijzen hoe vaak het stof op de heliostaten verwijderd moet worden.

(Persbericht Sulzer, Winterthur)

## Bijen eten DDT

In Brazilië langs de Ituxi-rivier tracht men malaria in te dammen door de malaria-mug met DDT te bestrijden. Donald Roberts van de University of Brazil en de Pest Management and Pesticide Monitoring Division van het US Army Environmental Hygiene Agency heeft gevonden dat de mannelijke bij, *Eufriesia purpurata*, urenlang bezig kan zijn om het DDT van de muren van behandelde huizen af te halen. Ook stelden zij vast dat de bijen gewoon terugkeren om nog meer DDT te verzamelen.

Het bleek dat er bijen waren die 2039 microgram DDT bevatten, terwijl 12 microgram voldoende is om een heel honingbijenvolk uit te moorden.

Men vermoedt nu dat DDT chemisch lijkt op stoffen die deze bijen gebruiken om hun territorium te markeren of als sex-lokstof. Het ziet er naar uit dat hun biochemische processen zodanig zijn dat ze DDT in deze stoffen om kunnen zetten en zodoende onschadelijk kunnen maken.

De bewoners van dit gebied worden nu wel geplaagd door de luid zoemende bijen, maar aan de andere kant steken de darren niet.

(Nature)

## Grijs gat weer gevuld

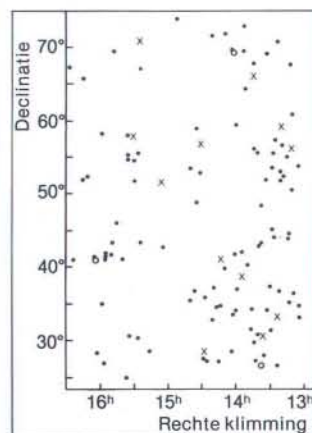
In het februari-nummer van Natuur en Techniek stond in de rubriek 'Actueel' onder de titel 'Grijs gat' een kort artikel over de opzienbarende ontdekking van een enorme lege ruimte in het sterrenbeeld Boötes. Niet alleen Natuur en Techniek, maar ook dag- en weekbladen hebben aandacht besteed aan deze vondst. Vaak werd er dan uitgebreid gespeculeerd over de consequenties die deze nieuwe ontdekking zou hebben voor de Big Bang theorie (de theorie die het ontstaan van het heelal beschrijft). Het bestaan van dit grote gat is echter in april j.l. overtuigend weerlegd in het toonaangevende Amerikaanse vakblad The Astrophysical Journal, waarin ook de aankondiging van de vondst had gestaan. Omdat het misschien wat vreemd aandoet dat een ontdekking zoveel publiciteit krijgt en kort daarna onjuist blijkt te zijn, wordt hier in het kort zowel de oorspronkelijke publikatie als

de weerlegging ervan besproken.

Een belangrijk doel van sterrenkundig onderzoek is er achter te komen wat de structuur van het heelal is en hoe deze in de loop van de tijd verandert. Om een structuur te beschrijven moet je weten hoe de bouwstenen ervan verdeeld zijn. De bouwstenen van het heelal zijn de sterrenstelsels, die in grote groepen, clusters genaamd, voorkomen. Clusters blijken ook weer de neiging te hebben om zich te groeperen tot superclusters. De verdeling van deze superclusters is waarschijnlijk regelmatig en daarmee vormen ze dus de grootste eenheden in het heelal. Willen we uiteindelijk de evolutie van het heelal begrijpen dan zullen we de superclusters moeten kunnen beschrijven en dus o.a. moeten weten hoe de sterrenstelsels daarin verdeeld zijn.

In het kader van zo'n onderzoek hebben de astronomen Kirshner, Oemler, Schechter en

Schechterman in drie verschillende gebieden aan de hemel de snelheden van de daar aanwezige sterrenstelsels bepaald (de snelheid van een stelsel van ons vandaan is een directe maat voor zijn afstand). In fig. 1 zijn de posities van deze gebieden aan de hemel





Linksonder Fig. 1. Een schematische weergave van de hemel in het sterrenbeeld Boötes. De cirkeltjes stellen de drie gebiedjes voor waar Kirshner en zijn medewerkers hun onderzoek verrichtten. De puntjes en kruisjes geven de sterrenstelsels weer waarvan de snelheden van ons af bekend zijn. De kruisjes zijn juist die stelsels die het 'gat' opvullen.

Boven: Het cluster van sterrenstelsels in het sterrenbeeld Corona Borealis (de Noorderkroon) dat aan Boötes grenst. De positie van de cluster aan de hemel is: rechte klimming  $15^h 20^m.6$  en declinatie  $27^\circ 54'$ . In figuur 1 is dat linksonder. Op deze foto zijn er veel meer sterrenstelsels van de cluster te zien (alle vage vlekjes) dan voorgrondsterren van ons eigen melkwegstelsel (zoals bijvoorbeeld linksboven). Wat opvalt is dat ster-

renstelsels een zeer uiteenlopende helderheid kunnen hebben. Er is een gering aantal heldere stelsels, maar er zijn enorm veel zwakke stelsels, die op deze foto nog maar net te onderscheiden zijn. De stelsels in de cluster hebben allemaal ongeveer dezelfde snelheid (rond 21 000 km/s) van ons vandaan, wat overeenkomt met een gemiddelde afstand van 700 miljoen lichtjaar. (Foto Hale Observatories).

met cirkeltjes weergegeven; ze liggen ver van elkaar. Zo'n gebiedje bevat zeer veel sterrenstelsels van uiteenlopende helderheid; er is in het algemeen een gering aantal heldere stelsels en een groter aantal zwakkere. Van alle stelsels tot een bepaalde limiethelderheid hebben Kirshner en zijn medewerkers de snelheden bepaald. Voor alle stelsels in de drie gebieden te zamen is de verdeling van snelheden gegeven in de fig. 2a. De kromme in de figuur geeft de verwachte verdeling van stelsels

weer op grond van reeds bekende gegevens. Er bestaat dus een duidelijk verschil tussen de verwachte en de waargenomen verdeling. Juist waar we de meeste sterrenstelsels verwachten, vinden we er de minste. Tussen 12 000 en 18 000 km/s, wat overeenkomt met afstanden van 400 tot 600 miljoen lichtjaar, is er slechts één stelsel gevonden. Dit is nu het beroemde gat in Boötes. De diameter ervan is ongeveer 200 miljoen lichtjaar, waarmee het één van de grootste bekende lege ge-

bieden in het heelal zou zijn.

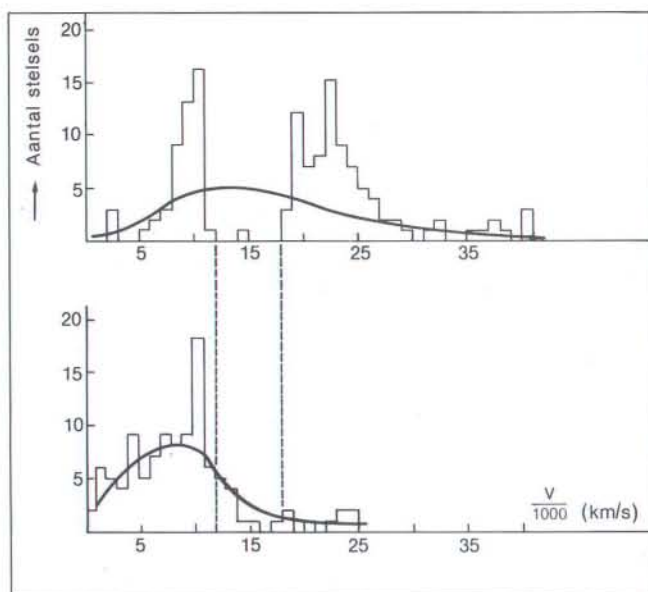
De reeds eerder genoemde astronomen waren zich er wel van bewust dat het ontstaan van zo'n enorm gat moeilijk te verklaren is en zij waren dan ook de eersten om een vraagteken te zetten bij hun eigen ontdekking! Een van de redenen daarvoor was dat de drie onderzochte gebieden in fig. 1 zo ver van elkaar vandaan liggen, dat je pas zeker weet dat de tussenliggende ruimte inderdaad leeg is, als je ook naar gebieden er tussen in hebt gekeken.

Kirshner en medewerkers zeiden dan ook: "Het beschikbare bewijsmateriaal voor ons dichtheidsminimum is zwak. Daarom gaan we nu de snelheden van stelsels in het gehele gebied meten om het bestaan van het gat te bevestigen en om de uitgebreidheid en stelselinhoud ervan te bestuderen".

Kennelijk hebben maar weinigen deze opmerking gelezen. Hoe het ook zij, in april j.l. verscheen er in *The Astrophysical Journal* een artikel getiteld: 'Het vullen van het gat in Boötes', door Balzano en Weedman. Zij zijn op zoek gegaan naar wat er zo al in de sterrenkundige literatuur bekend was over sterrenstelsels tussen de drie gebieden die Kirshner had onderzocht. Ze vonden dat er van maar liefst 113 relatief heldere stelsels (zie fig. 1) de snelheden gemeten zijn; 12 daarvan (de kruisjes in fig. 1) hebben een snelheid tussen 12 000 en 18 000 km/s! Daarmee is het gat in Boötes op overtuigende wijze opgevuld. De verdeling van snelheden die Balzano en Weedman vonden staat in fig. 2b; de kromme geeft ook hier het verwachte aantal stelsels. Er is dus een goede overeenstemming tussen wat je verwacht en wat je vindt en er is geen enkele aanwijzing voor een groot, leeg gebied. Het verschil tussen de krommes in fig. 2a en 2b wordt bepaald door twee factoren:

- In fig. 2a zijn drie kleine gebiedjes onderzocht, terwijl fig. 2b de snelheden in een veel groter deel van de hemel weergeeft. Daar is dus naar méér heldere stelsels (die gemiddeld een lage snelheid hebben), gekeken wat als resultaat heeft dat de kromme in fig. 2b hoger ligt.

- In fig. 2a zijn ook heel zwakke stelsels bestudeerd, die in het algemeen ver van ons vandaan staan en dus grote snelheden hebben. Daardoor loopt de kromme in fig. 2a verder naar rechts door.



Geheel boven fig. 2a en hierboven Fig. 2b. De verdeling van snelheden van sterrenstelsels in de drie gebiedjes die door Kirshner en medewerkers zijn onderzocht. De kromme geeft op grond van bekende gegevens het verwachte aantal stelsels weer. Opvallend is het ontbreken van stelsels met snelheden tussen 12 000 en 18 000 km/sec van ons vandaan: dit is het 'gat' in Boötes. In fig. 2b de snelheidsverdeling van de door Balzano en Weedman onderzochte stelsels in een groot deel van het sterrenbeeld Boötes. Het gat van fig. 2a blijkt geheel opgevuld te zijn.

Hoe verklaren we nu de oorspronkelijke ontdekking van het gat. Een nauwkeurige analyse leert dat het toeval de onderzoekers parten heeft gespeeld. Als Kirshner voor zijn oorspronkelijke onderzoek drie andere velden in Boötes had uitgezocht, dan had hij geen gat gevonden. Er is namelijk nog iets bijzonders in fig. 2a te zien: zowel bij een lage snelheid (rond 8 000 km/s) als een hoge (23 000 km/s) zijn er opvallend veel stelsels gevonden. Bij deze snelheden zijn de stelsels geclusterd. Als je echter de verdeling van snelheden voor alle drie gebieden apart bekijkt (wat niet in fig. 2a getoond is) dan blijkt dat deze clustering voornamelijk in twee gebieden voorkomt. In het derde zitten minder stelsels, zodat er, afgezien van een groep

rond 10 000 km/s, ook nauwelijks clusters voorkomen. Toeval-igerwijs zitten er dus in twee verschillende gebieden aan de hemel clusters op dezelfde afstand van ons vandaan. Dit is op zich geen schokkende gebeurtenis die juist veroorzaakt kan worden door het werken met een klein aantal velden. Het is heel moeilijk om met kleine aantallen goede statistiek te bedrijven. Als er zich twee op elkaar lijkende gebeurtenissen hebben afgespeeld wil dat nog niet zeggen dat dezelfde gebeurtenissen zich altijd af zullen spelen. Het onderzoek naar de verdeling van sterrenstelsels in Boötes is hier een voorbeeld van.

W. Bijleveld  
Sterrewacht Leiden

# Geef 't hart 'n nieuwe start



De Nederlandse Hartstichting steunt de bestrijding van hart- en vaatziekten op een zo breed mogelijk terrein.

- Op preventief gebied, door het propageren van een gezonde levenswijze, door het stimuleren van gezonde beweging en gezond gewicht.
- Door het bevorderen van revalidatie, nazorg en begeleiding van hartpatiënten en hun partners.
- Door het organiseren van vakantieweken voor kinderen met aangeboren hartafwijkingen.
- Door steun aan ouders van deze kinderen.
- Door het organiseren van reanimatiecursussen en instructeursopleidingen.
- Door wetenschappelijk onderzoek naar risicofactoren.
- Door het steunen van talloze wetenschappelijke projecten, als bijdrage tot de ontwikkeling van de cardiologie.

Geef 't hart 'n nieuwe start, met uw gift aan de collectant op straat, of door uw overmaking op giro 20 40 50

**nederlandse hartstichting**

Sophialaan 10, 2514 JR 's-Gravenhage.



# 1e Analist farmacologie m/v

Duphar B.V. is een farmaceutisch-chemisch bedrijf dat zich internationaal bezighoudt met het onderzoek, de productie en de verkoop van onder andere geneesmiddelen, vitaminen en gewasbeschermingsmiddelen.

Bij de Cardiovasculaire groep is een functie vacant van 1e analist, die in overleg met het staflid belast zal worden met het ontwikkelen en bewaken van modellen voor het testen van stoffen.

Het ligt in de bedoeling, dat deze functie zich binnen een aantal jaren zal ontwikkelen tot het niveau van Hoofd-analist, waarbij hij/zij met grote mate van zelfstandigheid zal moeten functioneren.

Gedacht wordt aan kandidaten die beschikken over:

- HBO-A diploma zoölogie (farmacologische studierichting)
- minimaal 3 jaar ervaring op relevant vakgebied
- belangstelling voor theoretische aspecten van het vakgebied
- organisatorische en contactuele eigenschappen.

Een psychologisch onderzoek kan deel uitmaken van de sollicitatieprocedure.

Uw sollicitatie kunt u richten aan Duphar B.V.,  
Antwoordnummer 1010, 1380 VC Weesp, (geen postzegel nodig), afdeling Personeelzaken.

## **duphar**



**DUPHAR B.V.,**  
**Farmaceutisch-Chemische Industrie**